# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL

**Tesis**

# Evaluación del diseño geométrico para la seguridad vial en el tramo: Achocca - Antilla, Sabaino - Antabamba, 2025


**Asesor:**

Ph.D. Vásquez Ramírez Abbon Alex

**Autor:**

Huamani Gonzales Lenis Brayyan


**Para optar el título profesional de:**

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 055

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los veinticuatro (24) días del mes de septiembre del 2026, siendo las 11: 00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0669-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

| | |
|---|---|
| Presidente : | Mag. ROLDAN JUAREZ, Américo |
| Dictaminante: | Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre |
| Replicante : | Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel |

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: ***Evaluación del diseño geométrico para la seguridad vial en el tramo: Achocca - Antilla, Sabaino - Antabamba, 2025***

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br. : HUAMANI GONZALES, Lenis Brayyan**

Para optar el Tituló Profesional de:

Ingeniero Civil

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

Emitiéndose el calificativo final de:

| Bachiller | Nota | Detalle (**) |
|---|---|---|
| **Br. HUAMANI GONZALES, Lenis Brayyan** | 13 | APROBADO |

Siendo las 12:00 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDAN JUAREZ, Américo (.....)

Dictaminante: Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre (.....)

Replicante: Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel (.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# 19% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

## Fuentes principales

17% Fuentes de Internet
6% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

**N.° de alertas de integridad para revisión**

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

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

**Metadatos**

| Datos del Autor | | |
|---|---|---|
| Apellidos y nombres | : | Huamani Gonzales Lenis Brayyan |
| Tipos de Documento de Identidad | : | DNI |
| Número de Documento de Identidad | : | 74736203 |
| URL ORCID | : | https://orcid.org/0009-0008-9395-4765 |
| **Datos del Asesor** | | |
| Apellidos y nombres | : | Ph. D. Vásquez Ramírez Abbon Alex |
| Tipos de Documento de Identidad | : | DNI |
| Número de Documento de Identidad | : | 06532658 |
| URL ORCID | : | https://orcid.org/0000-0001-7299-5367 |
| **Datos de la investigación** | | |
| Facultad | : | Ingeniería |
| Escuela Profesional | : | Ingeniería Civil |
| Línea de investigación | : | Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible |
| Rango de años en que se realizó la investigación | : | 2025 |
| Fuente de financiamiento | : | Financiamiento Propio |
| Porcentaje de similitud | : | 19% |
| URL de OCDE | : | https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 |

**Dedicatoria**

A mis padres Paulino y Alejandro, y a mis madres Lidia y Juana, por enseñarme con su ejemplo que la verdadera fortaleza nace del amor, la paciencia y el trabajo constante. Cada uno de ustedes dejó en mí una huella imborrable que me impulsa a seguir creciendo.

A mis hermanos Sianela, Saymisu y Jarol por su alegría, su confianza y por recordarme que siempre hay motivos para sonreír incluso en los días más difíciles.

A mi compañera de vida Brenda, por compartir conmigo cada paso, cada desafío y cada pequeño triunfo. Tu amor y compañía convierten cualquier meta en un sueño alcanzable.

**Agradecimiento**

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiar mi camino, darme claridad en los momentos de duda y brindarme la perseverancia necesaria para culminar esta importante etapa profesional.

A mi querida familia, por ser la base de mi vida, por su amor constante, su apoyo incondicional y por impulsarme siempre a alcanzar mis metas con humildad y esfuerzo.

A mi casa de estudios, por fomentar la búsqueda del conocimiento, promover la investigación y motivar a sus estudiantes a aplicar lo aprendido para transformar la realidad de nuestro entorno y aportar al desarrollo de nuestra nación.

Al Ph.D, Abbon Alex Vásquez Ramírez, mi asesor, por su acompañamiento, paciencia y compromiso durante el proceso de elaboración de esta tesis. Su guía y experiencia han sido un pilar fundamental en mi formación académica y personal.

## Resumen

La presente tesis titulada “Evaluación del diseño geométrico para la seguridad vial en el tramo: Achocca – Antilla, Sabaino – Antabamba, 2025” tuvo como objetivo evaluar la seguridad vial en función del diseño geométrico del tramo en estudio, analizando su relación con las condiciones de circulación. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, de nivel descriptivo–correlacional, empleándose el método normativo–comparativo basado en los criterios del Manual de Carreteras DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El estudio comprendió el levantamiento topográfico del tramo y la evaluación de la seguridad vial en función del alineamiento horizontal, vertical y sección transversal. Los resultados evidenciaron que el 80 % de las curvas horizontales no cumplen con el radio mínimo normativo, el 64 % de las curvas verticales presentan longitudes inferiores a las exigidas y el 97.9 % de las secciones no alcanzan el ancho mínimo de calzada de 6.00 m. Asimismo, se identificó ausencia de bermas y señalización, lo que incrementa las condiciones de riesgo.

El análisis permitió determinar que el tramo presenta un nivel de riesgo entre medio y alto, debido al incumplimiento de criterios técnicos que afectan la visibilidad, estabilidad vehicular y maniobrabilidad. En ese sentido, se establece que existe una relación directa entre las condiciones del diseño y la seguridad del tramo.

Se concluye que el diseño geométrico actual no garantiza condiciones adecuadas de seguridad vial, por lo que se recomienda su rediseño conforme a la normativa.



**Palabras clave: diseño geométrico, seguridad vial, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, sección transversal.**

***Abstract***

*This thesis, entitled "Evaluation of Geometric Design for Road Safety on the Achocca – Antilla and Sabaino – Antabamba Section, 2025," aimed to evaluate road safety based on the geometric design of the section under study, analyzing its relationship with traffic conditions. The research approach was quantitative, at a descriptive-correlational level, employing the normative-comparative method based on the criteria of the DG-2018 Highway Manual of the Ministry of Transport and Communications.*

*The study included a topographic survey of the section and an evaluation of road safety based on horizontal and vertical alignment and cross-section. The results showed that 80% of the horizontal curves do not meet the minimum regulatory radius, 64% of the vertical curves have lengths shorter than required, and 97.9% of the sections do not reach the minimum roadway width of 6.00 m. Furthermore, the absence of shoulders and signage was identified, which increases the risk.*

*The analysis determined that the section presents a medium to high risk level due to non-compliance with technical criteria that affect visibility, vehicle stability, and maneuverability. In this regard, it is established that there is a direct relationship between the design conditions and the safety of the section.*

*It is concluded that the current geometric design does not guarantee adequate road safety conditions, and therefore, its redesign in accordance with regulations is recommended.*

***Key words: design, road safety, horizontal alignment, vertical alignment, cross-section.***

## Índice General

Acta de sustentación ..... ii

Reporte de similitud ..... iii

Metadatos ..... iv

Dedicatoria ..... v

Agradecimiento ..... vi

Resumen ..... vii

*Abstract* ..... viii

Índice General ..... ix

Índice de tablas ..... xiv

Índice de figuras ..... xvi

Índice de anexos ..... xvii

I. Introducción ..... 18

II. Planteamiento del problema. ..... 20

2.1. Descripción y formulación del problema ..... 20

2.1.1. Descripción del problema ..... 20

2.1.2. Formulación del problema de investigación ..... 21

2.2. Objetivos ..... 22

2.2.1. Objetivo general ..... 22

2.2.2. Objetivos específicos ..... 22

2.3. Justificación e importancia ..... 23

2.4. Hipótesis ..... 24
2.5. Variables ..... 25
III. Marco teórico. ..... 26
3.1. Antecedentes ..... 26
3.1.1. A nivel internacional ..... 26
3.1.2. A nivel nacional ..... 28
3.1.3. A nivel local ..... 34
3.2. Bases teóricas ..... 35
3.2.1. Clasificación de carreteras y criterios de diseño ..... 35
3.2.1.1. Clasificación por demanda ..... 35
3.2.1.2. Clasificación por orografía ..... 37
3.2.1.3. Velocidad de diseño y su relevancia ..... 38
3.2.2. Criterios y controles del diseño geométrico ..... 40
3.2.2.1. Controles de visibilidad ..... 41
3.2.2.2. Factores de diseño: vehículo de diseño, IMDA ..... 43
3.2.3. Diseño geométrico en planta ..... 47
3.2.3.1. Alineamientos horizontales: tangentes, curvas, transiciones ..... 47
3.2.4. Diseño geométrico en perfil longitudinal ..... 56
3.2.4.1. Pendientes máximas/mínimas según clase de carretera ..... 56
3.2.4.2. Curvas verticales (convexas y cóncavas): criterios de visibilidad de parada/adelantamiento ..... 59
3.2.5. Diseño de la sección transversal ..... 65

3.2.5.1. Elementos de la sección transversal: calzada, bermas, bombeo, taludes ..... 65
3.2.6. Seguridad Vial ..... 75
3.2.6.1. Cumplimiento de visibilidad mínima ..... 75
3.2.6.2. Cumplimiento radio–velocidad (Estabilidad vehicular) ..... 75
3.2.6.3. Condición del ancho de calzada (Maniobrabilidad) ..... 75
3.2.6.4. Presencia de sobreancho ..... 76
3.2.7. Relaciones entre diseño geométrico y la seguridad vial ..... 76
3.2.7.1. Relación entre el alineamiento horizontal y la estabilidad vehicular ..... 76
3.2.7.2. Relación entre el alineamiento vertical y la visibilidad ..... 76
3.2.7.3. Relación entre el radio de curvatura y la estabilidad vehicular ..... 77
3.2.7.4. Relación entre el ancho de calzada y la maniobrabilidad ..... 77
3.2.7.5. Relación entre el sobreancho y la seguridad en curvas ..... 77
3.2.7.6. Relación entre el peralte y la estabilidad vehicular ..... 78
3.3. Definición de términos ..... 79
IV. Metodología ..... 84
4.1. Tipo y nivel de investigación ..... 84
4.1.1. Tipo de investigación ..... 84
4.1.2. Nivel de investigación ..... 84
4.1.3. Diseño de investigación ..... 84
4.2. Ámbito temporal y espacial ..... 85
4.2.1. Temporal ..... 85

4.2.2. Espacial ..... 85
4.3. Población y muestra ..... 86
4.3.1. Población: ..... 86
4.3.2. Muestra: ..... 86
4.4. Instrumentos ..... 86
4.5. Procedimientos ..... 87
4.6. Análisis de datos ..... 89
4.7. Consideraciones éticas ..... 90
V. Resultados y discusión ..... 91
5.1. Resultados ..... 91
5.1.1. Resultados del diseño geométrico en planta (alineamiento horizontal) 92
5.1.1.1. Evaluación de radio en el tramo ..... 92
5.1.1.2. Evaluación de tangentes en el tramo ..... 94
5.1.1.3. Evaluación de longitud de curva ..... 96
5.1.1.4. Evaluación de sobreancho ..... 98
5.1.2. Resultados del diseño geométrico en perfil (alineamiento vertical) ... 100
5.1.2.1. Evaluación de curvas verticales ..... 100
5.1.2.2. Evaluación de tipo y pendiente de curvas verticales ..... 102
5.1.3. Resultados del diseño geométrico de la sección transversal ..... 104
5.1.3.1. Evaluación de ancho de calzada ..... 104
5.1.3.2. Evaluación de bermas ..... 107
5.1.3.3. Evaluación de peralte ..... 107

5.1.4. Síntesis general del análisis geométrico ..... 108
5.1.5. Resultados sobre seguridad vial ..... 110
5.1.6. Relación entre diseño geométrico y seguridad vial ..... 111
5.2. Discusión ..... 113
5.2.1. Discusión del alineamiento horizontal ..... 113
5.2.2. Discusión del alineamiento vertical ..... 113
5.2.3. Discusión de la sección transversal ..... 114
5.2.4. Discusión sobre la seguridad vial ..... 114
5.2.5. Verificación de hipótesis ..... 115
5.2.6. Síntesis general ..... 116
VI. Conclusiones ..... 117
VII. Recomendaciones ..... 120
VIII. Referencias ..... 123
IX. Anexos ..... 127

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de carreteras por demanda ..... 36
Tabla 2 Clasificación de carreteras por orografía ..... 38
Tabla 3 Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera ..... 39
Tabla 4 Valores de velocidades máximas de operación ..... 40
Tabla 5 Distancia de parada para pendientes de 0% a 3% ..... 42
Tabla 6 Distancia de parada para pendientes mayores a 3% ..... 43
Tabla 7 Dimensiones y características de los vehículos de diseño ..... 44
Tabla 8 Parámetros de giro del Vehículo ligero (VL) según ángulo de trayectoria ..... 45
Tabla 9 Clasificación de vehículos según categoría y subcategoría ..... 46
Tabla 10 Longitudes de tramos en tangente ..... 47
Tabla 11 Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras ..... 50
Tabla 12 Ventajas del uso de la clotoide como curva de transición ..... 51
Tabla 13 Cambio de la aceleración lateral en función del tiempo ..... 52
Tabla 14 Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60 m de ancho ..... 56
Tabla 15 Pendientes mínimas recomendadas según condiciones de calzada ..... 57
Tabla 16 Pendientes máximas según orografía – 3° clase ..... 58
Tabla 17 Consideraciones para carreteras de Tercera Clase ..... 58
Tabla 18 Valores de K para el cálculo de longitud de curva vertical convexa ..... 65
Tabla 19 Criterios para la determinación de carriles y sus dimensiones ..... 67
Tabla 20 Anchos mínimos de calzada en tangente ..... 67
Tabla 21 Anchos de bermas ..... 68
Tabla 22 Inclinación de bermas en carreteras de bajo tránsito ..... 69
Tabla 23 Pendientes transversales mínimas de las bermas ..... 70
Tabla 24 Valores del bombeo de la calzada ..... 71
Tabla 25 Radios de curvatura que no precisan sobreelevación ..... 71

Tabla 26 Peralte máximo según zona de circulación ..... 72
Tabla 27 Relación entre velocidad de diseño y radios de curvatura ..... 72
Tabla 28 Valores referenciales para taludes en corte (Relación H:V) ..... 74
Tabla 29 Características de diseño de cunetas ..... 74
Tabla 30 Evaluación de radios y longitudes de curvas horizontales ..... 93
Tabla 31 Evaluación de tangentes calculadas y mínimas en el tramo ..... 95
Tabla 32 Evaluación de longitudes de curvas ..... 97
Tabla 33 Evaluación de sobreancho en curvas horizontales ..... 99
Tabla 34 Evaluación de curvas verticales ..... 101
Tabla 35 Evaluación del tipo y pendiente de curvas verticales ..... 103
Tabla 36 Evaluación del ancho de calzada ..... 105
Tabla 37 Síntesis general del análisis geométrico del tramo Achocca – Antilla ..... 109
Tabla 38 Puntos críticos de seguridad vial en el tramo Achocca – Antilla ..... 110
Tabla 39 Relación entre deficiencias geométricas y riesgos viales ..... 112
Tabla 40 Verificación de hipótesis de investigación ..... 115

## Índice de figuras

Figura 1 Giro mínimo para vehículos ligeros (VL) Trayectoria 180º..... 45

Figura 2 Simbología de la curva circular..... 48

Figura 3 Aspectos geométricos del enlace transición–curva circular..... 53

Figura 4 Configuración recomendada en “S”..... 54

Figura 5 Tramos de ingreso y egreso de la curva de giro..... 55

Figura 6 Clasificación de las curvas verticales convexas y cóncavas..... 60

Figura 7 Elementos de C.V. Simétrica..... 61

Figura 8 Elementos de C.V. Asimétrica..... 61

Figura 9 Diagrama de curva vertical convexa según la distancia de detención (Relación entre el parámetro K)..... 62

Figura 10 Diagrama de curva vertical convexa según la distancia de visibilidad para el adelantamiento (aplicación del parámetro K)..... 64

Figura 11 Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva (elementos)..... 66

Figura 12 Pendiente transversal de bermas..... 70

Figura 13 Sección transversal típica en tangente..... 73

Figura 14 Ubicación del tramo: EMP. AP - 108 (Achocca) - Antilla..... 85

## Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia: Evaluación del diseño geométrico para la seguridad vial en el tramo: Achocca - Antilla, Sabaino - Antabamba, 2025 ..... 127

Anexo 2: Operacionalización de variables ..... 128

Anexo 3: Información del tráfico vehicular (septiembre-2025) ..... 129

Anexo 4: Formatos y fichas de conteo vehicular ..... 130

Anexo 5: Reporte de accidente otorgado por el juez de paz ..... 137

Anexo 6: Reporte de accidente otorgado por el presidente de la comunidad ..... 138

Anexo 7: Informe de Registro de Accidente de Tránsito. ..... 139

Anexo 8: Plano del tramo (ALINEAMIENTO HORIZONTAL) ..... 140

Anexo 9: Plano del tramo (ALINEAMIENTO VERTICAL) ..... 141

Anexo 10: Plano del tramo (ALINEAMIENTO TRANSVERSAL). ..... 142

Anexo 11: Resultados de alineamiento horizontal. ..... 143

Anexo 12: Resultados de alineamiento vertical. ..... 147

Anexo 13: Resultados de alineamiento transversal ..... 149

Anexo 14: Panel fotográfico ..... 152

# I. Introducción

El diseño geométrico de una vía constituye un elemento determinante dentro del ámbito de la seguridad vial, debido a su influencia directa en la forma en que los conductores perciben y responden ante los distintos riesgos presentes en la carretera. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), aproximadamente el 30 % de los siniestros viales a nivel global se encuentran asociados a deficiencias en el trazado de las vías, tales como radios inadecuados en curvas, pendientes excesivas o señalización insuficiente. Estas condiciones limitan la capacidad de maniobra y reacción del conductor, incrementando la probabilidad de accidentes. En territorios con relieve accidentado, como las zonas andinas, resulta imprescindible aplicar criterios técnicos rigurosos que garanticen un diseño seguro, funcional y acorde con las condiciones del terreno.

A nivel nacional, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2022) ha señalado que la ausencia de un adecuado diseño geométrico en diversas carreteras secundarias y terciarias del Perú contribuye significativamente al elevado índice de siniestros viales. Esta problemática se agrava en zonas rurales, donde la falta de mantenimiento y la antigüedad de los diseños viales incrementan el riesgo, especialmente durante temporadas de lluvia, cuando las condiciones de transitabilidad se ven severamente afectadas.

En este contexto, el tramo EMP. AP-108 (Achocca) – Antilla (Km 09+360), ubicado en el distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, región Apurímac, presenta diversas deficiencias geométricas identificadas mediante inspección de campo, tales como curvas con radios inferiores a los recomendados, pendientes pronunciadas y señalización insuficiente. Estas condiciones representan un riesgo para la seguridad de los usuarios, particularmente bajo condiciones climáticas adversas y en un entorno geográfico complejo. Si bien no se cuenta con registros oficiales detallados de accidentes en el tramo, esta situación puede atribuirse a limitaciones en la recolección de información en zonas rurales; no obstante, la

evidencia observacional revela condiciones que incrementan la probabilidad de ocurrencia de siniestros viales.

Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo analizar la influencia del diseño geométrico en la seguridad vial del tramo en estudio, considerando la evaluación de sus principales elementos: alineamiento horizontal, perfil longitudinal y sección transversal. Asimismo, se plantea como hipótesis que las deficiencias en el diseño geométrico existente inciden negativamente en los niveles de seguridad vial. La relevancia de este estudio radica en la necesidad de generar información técnica que permita proponer mejoras orientadas a reducir riesgos y optimizar la transitabilidad, contribuyendo al desarrollo vial de la provincia de Antabamba.

Metodológicamente, la investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel descriptivo-correlacional, empleando técnicas de observación directa, levantamiento de información en campo y análisis comparativo con la normativa vigente DG-2018.

# II. Planteamiento del problema.

## 2.1. Descripción y formulación del problema

### 2.1.1. *Descripción del problema*

A nivel internacional, la evaluación del diseño geométrico de carreteras se sustenta en parámetros técnicos estandarizados que permiten analizar las condiciones de seguridad y operatividad de las vías. Organismos como la Organización Mundial de la Salud (2023) señalan que una proporción significativa de los siniestros de tránsito está asociada a deficiencias en el diseño geométrico, tales como radios de curvatura inadecuados, pendientes excesivas y deficiencias en la señalización. Estos factores limitan la capacidad de reacción de los conductores y aumentan el riesgo de ocurrencia de accidentes, especialmente en zonas con topografía accidentada.

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), como ente rector de la infraestructura vial, establece a través del Manual de Carreteras DG-2018 los criterios técnicos que deben cumplir las vías en cuanto a alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de seguridad vial. Sin embargo, en muchas vías rurales y de montaña se evidencian incumplimientos de estos parámetros, lo cual genera condiciones de circulación inseguras. En este contexto, la evaluación del diseño geométrico permite identificar deficiencias existentes y orientar la toma de decisiones para mejorar las condiciones de transitabilidad.

En la región Apurímac, particularmente en la provincia de Antabamba, el tramo EMP. AP-108 (Achocca) – Antilla (KM 09+360) presenta diversas deficiencias en su configuración geométrica. Durante la inspección técnica y el levantamiento de información en campo, se identificaron curvas con radios menores a los establecidos por la normativa, pendientes longitudinales pronunciadas y ausencia de señalización

horizontal y vertical, lo cual limita la visibilidad y dificulta la maniobrabilidad vehicular. Estas condiciones afectan la seguridad de los usuarios y generan una circulación menos eficiente.

Las causas que originan esta problemática están asociadas principalmente a: 1) la falta de evaluación periódica del diseño geométrico de la vía, 2) el incremento del tránsito vehicular no considerado en el diseño original, 3) la limitada disponibilidad de recursos técnicos y económicos para el mantenimiento vial, 4) la ausencia de una adecuada gestión vial en zonas rurales, y 5) factores externos como las condiciones climáticas y la topografía accidentada del terreno.

Las consecuencias que pueden generarse si esta problemática persiste son: 1) incremento de condiciones de riesgo para los usuarios de la vía, 2) mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito, 3) incremento en los costos de operación vehicular, 4) deterioro progresivo de la infraestructura vial, y 5) afectación a la conectividad y desarrollo socioeconómico de la zona.

En ese sentido, resulta necesario evaluar el diseño geométrico del tramo en estudio en función de los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018, con la finalidad de identificar incumplimientos normativos y proponer medidas técnicas orientadas a mejorar las condiciones de seguridad vial, tales como la adecuación de radios de curvatura, control de pendientes, implementación de señalización y fortalecimiento del mantenimiento vial.

### 2.1.2. *Formulación del problema de investigación*

**Problema general**

- ¿De qué manera la evaluación del diseño geométrico influye en la seguridad vial en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025?

**Problemas específicos**

- ¿Cómo se evalúa la seguridad vial en función del alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025?
- ¿De qué manera se analiza la seguridad vial en relación con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025?
- ¿Cómo se examina la seguridad vial respecto a la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025?

## 2.2. Objetivos

### 2.2.1. *Objetivo general*

- Evaluar la influencia del diseño geométrico en la seguridad vial en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.

### 2.2.2. *Objetivos específicos*

- Evaluar la seguridad vial en función del alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.
- Analizar la seguridad vial en relación con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.
- Examinar la seguridad vial respecto a la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.

## 2.3. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica desde una perspectiva teórica, práctica, metodológica y social, debido a su contribución al análisis del diseño geométrico y su influencia en la seguridad vial en contextos rurales de topografía accidentada.

Desde el punto de vista teórico, el estudio aporta al fortalecimiento del conocimiento existente sobre la relación entre los elementos del diseño geométrico —alineamiento horizontal, perfil longitudinal y sección transversal— y los niveles de seguridad vial, tomando como referencia la normativa vigente DG-2018. Asimismo, permite contrastar los parámetros técnicos establecidos con las condiciones reales de una vía rural altoandina, generando información que puede servir como base para futuras investigaciones en el ámbito del diseño vial.

En el aspecto práctico, la investigación resulta relevante debido a que analiza el tramo EMP. AP-108 (Achocca) – Antilla (Km 09+360), el cual constituye una vía fundamental para la conectividad del distrito de Sabaino y la provincia de Antabamba. Este corredor ha incrementado su importancia a raíz del desarrollo del Proyecto Minero Antilla, lo que ha generado un aumento significativo del tránsito vehicular, incluyendo unidades de carga pesada no contempladas en el diseño original. En este sentido, los resultados permitirán identificar deficiencias geométricas que afectan la seguridad vial y servirán como insumo técnico para la toma de decisiones en futuras intervenciones viales.

Desde la perspectiva metodológica, la investigación aplica un enfoque cuantitativo basado en la recolección de datos en campo y su análisis comparativo con estándares normativos, lo cual contribuye a validar procedimientos de evaluación del diseño geométrico en vías rurales. De este modo, se establece una metodología

replicable que puede ser utilizada en estudios similares, especialmente en zonas con características geográficas complejas.

En el ámbito social, la investigación adquiere importancia debido a que busca contribuir a la mejora de la seguridad vial, reduciendo los riesgos de accidentes y garantizando condiciones de tránsito más seguras para la población local, transportistas y usuarios en general. Asimismo, favorece el desarrollo económico de la zona al optimizar la transitabilidad de una vía clave para el transporte de bienes, incluyendo la actividad minera, agrícola y comercial.

En conjunto, la investigación presenta una alta importancia y utilidad, ya que no solo permite diagnosticar la situación actual del tramo en estudio, sino que también genera aportes técnicos que pueden ser considerados en la planificación, diseño y mejora de infraestructuras viales en contextos similares, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector transporte en regiones altoandinas del país.

## 2.4. Hipótesis

### Hipótesis general

- La evaluación del diseño geométrico influye significativamente en la seguridad vial en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.

### Hipótesis especificas

- La seguridad vial está influenciada por el alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.
- La seguridad vial está relacionada con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.

- La seguridad vial está condicionada por la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.

## 2.5. Variables

- ❖ Variable independiente: Diseño geométrico
- ❖ Variable Dependiente: Seguridad vial

# III. Marco teórico.

## 3.1. Antecedentes

### 3.1.1. *A nivel internacional*

De acuerdo con Montoya y Garrido (2020), en el estudio titulado “Análisis comparativo del diseño geométrico vertical de carreteras basado en normativas internacionales”, se tuvo como objetivo identificar inconsistencias y vacíos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS de Colombia en comparación con normativas internacionales como AASHTO de Estados Unidos y la Norma 3.1-IC de España, con la finalidad de proponer mejoras en el diseño geométrico vertical. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por normativas de diseño geométrico de carreteras, mientras que la muestra correspondió a los capítulos de diseño geométrico vertical de cada una; el diseño de investigación fue no experimental de tipo comparativo, empleando como metodología el análisis documental mediante la traducción del capítulo de diseño vertical del manual AASHTO y la elaboración de cuadros comparativos; asimismo, el tipo y nivel de investigación fue aplicado y de nivel descriptivo-comparativo. Como resultados, se evidenciaron diferencias significativas en parámetros como pendientes máximas y mínimas, longitudes críticas de pendiente, diseño de curvas verticales y criterios para carriles adicionales, identificándose además limitaciones en el manual colombiano para adaptarse a topografías montañosas, por lo que los autores concluyen la necesidad de actualizar dicha normativa incorporando criterios más adecuados de seguridad y operación, a fin de garantizar un diseño geométrico vertical que optimice la seguridad, comodidad y eficiencia del tránsito vehicular.

Según Bautista (2022), en la investigación titulada “Evaluación del estado actual y propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento para la rehabilitación del K23+390 al K28+390 Paipa-Termales-Pantano de Vargas-Firavitoba en el departamento de Boyacá”, se tuvo como objetivo evaluar las condiciones actuales de la vía y proponer un diseño geométrico

y estructural de pavimento que permita mejorar las condiciones de transitabilidad. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por el tramo vial objeto de estudio, mientras que la muestra correspondió al segmento comprendido entre los kilómetros K23+390 al K28+390; el diseño de investigación fue no experimental, aplicando una metodología de tipo aplicada basada en la recolección y análisis de información de campo, estudios geotécnicos, análisis de tránsito y condiciones climáticas, así como el uso de parámetros establecidos por normativas como INVIAS; asimismo, el tipo y nivel de investigación fue descriptivo-propositivo. Como resultados, se identificaron deficiencias en las condiciones geométricas y estructurales de la vía, evidenciando la necesidad de intervenir mediante un rediseño que considere variables como tránsito, confiabilidad, características del suelo y condiciones ambientales, concluyendo que la aplicación de criterios técnicos adecuados permite mejorar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial.

Según Lapentti (2019), en la investigación titulada “Diseño de propuestas para solucionar los problemas de seguridad vial existentes en la Ruta Nacional N.º 39”, el objetivo fue proponer soluciones de ingeniería para mejorar la seguridad vial y el funcionamiento de la vía mediante intervenciones físicas y operativas. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por la Ruta Nacional N.º 39 y la muestra por los tramos críticos identificados; el diseño de investigación fue no experimental, de enfoque aplicado, empleando una metodología por fases que incluyó recopilación de información, análisis de antecedentes, evaluación mediante auditoría de seguridad vial, inspecciones de campo y diseño de soluciones basadas en normativa técnica vigente. Como resultados, se identificaron múltiples problemas de seguridad vial relacionados con conflictos de circulación, deficiencias geométricas y falta de señalización, lo que permitió plantear propuestas como mejoras en accesos, paradas de transporte, señalización y sistemas de contención. Finalmente, se

concluye que la aplicación de criterios técnicos y auditorías de seguridad vial contribuye a reducir riesgos de accidentes y optimizar el nivel de servicio de la vía.

Según Cando (2022), en la investigación titulada “Diseño geométrico de la vía ex colonia Velasco Ibarra – Morete Cocha – Santa Mónica en el tramo km 0+000 – 4+000, perteneciente al cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo”, el objetivo fue diseñar geométricamente una vía rural que permita mejorar las condiciones de transitabilidad y seguridad vial en la zona de estudio. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por la vía en estudio y la muestra por el tramo específico analizado; el diseño de investigación fue no experimental con enfoque aplicado, empleando técnicas como levantamiento topográfico mediante GPS, estudios de tráfico con conteo vehicular manual durante siete días, análisis de suelos y recopilación de información técnica basada en normativa vigente. Como resultados, se determinaron las características geométricas y de tránsito de la vía, identificando volúmenes vehiculares, condiciones del terreno y parámetros necesarios para el diseño, lo que permitió proponer una solución técnica acorde a las condiciones del entorno. Finalmente, se concluye que la aplicación de criterios de diseño geométrico adecuados contribuye a mejorar la seguridad vial, la conectividad y el desarrollo de zonas rurales.

### 3.1.2. *A nivel nacional*

Según el estudio realizado por Balbín y Baldeón (2019), en la investigación titulada “Propuesta de diseño geométrico en perfil para caminos de bajo volumen de tránsito en la provincia de Canta”, el objetivo fue proponer estándares de pendientes longitudinales que faciliten el diseño geométrico en perfil considerando el vehículo tipo de la zona. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por caminos de bajo volumen de tránsito de la provincia de Canta y la muestra por tramos específicos como San Buenaventura–Tambo y Lachaqui–Quives; el diseño de investigación fue no experimental con enfoque aplicado,

empleando técnicas de observación, levantamiento de datos en campo mediante GPS, análisis de pendientes y aplicación de métodos matemáticos como Paraud, SEA y aproximaciones sucesivas. Como resultados, se determinaron pendientes máximas superiores a las establecidas en la normativa peruana, proponiéndose valores de hasta 15% y excepcionalmente 17% bajo condiciones controladas, ajustadas a la realidad de los caminos rurales. Finalmente, se concluye que el uso de datos reales de campo y la consideración del vehículo tipo permiten optimizar el diseño geométrico en perfil, mejorando la funcionalidad y adaptabilidad de los caminos de bajo volumen de tránsito.

De acuerdo con la investigación realizada por Huacho y Mallma (2020), en la investigación titulada “Evaluación de parámetros de diseño en la carretera Lircay – Secclla – Angaraes – Huancavelica”, el objetivo fue evaluar los parámetros geométricos de la vía conforme a las especificaciones del Manual DG-2018, con la finalidad de identificar deficiencias que afecten la seguridad vial y la funcionalidad de la carretera. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por la carretera Lircay–Secclla y la muestra por el tramo evaluado; el diseño de investigación fue no experimental, de tipo descriptivo y explicativo, empleando técnicas como levantamiento topográfico, conteo vehicular durante varias semanas, análisis de curvas horizontales y verticales, así como secciones transversales y clasificación vial, utilizando instrumentos como cinta métrica, cámara fotográfica y formatos de aforo, complementados con el procesamiento estadístico de la información. Como resultados, se determinó que la vía presenta un tráfico promedio de 242 vehículos diarios, evidenciándose deficiencias en parámetros geométricos, donde el 78 % de los radios de curva cumple con la normativa, mientras que solo el 28 % de los sobreanchos cumple y el 100 % de las curvas presenta peralte incorrecto, lo que refleja un diseño geométrico deficiente. Finalmente, se concluye que el diseño actual no satisface plenamente las normas vigentes,

representando un riesgo para la seguridad vial y requiriendo mejoras técnicas para optimizar la circulación y reducir accidentes.

Según Martos (2021), en la investigación titulada “Impacto de las propiedades geométricas en la seguridad vial de la carretera Catan – Yuracmarca”, el objetivo fue determinar la influencia de las características geométricas de la vía en la seguridad vial, con la finalidad de identificar deficiencias que comprometan su funcionalidad y proponer mejoras. En cuanto a la metodología, la población estuvo conformada por la carretera Catan–Yuracmarca y la muestra por el tramo evaluado; el estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, empleando técnicas como levantamiento topográfico mediante estación total, GPS y eclímetro, conteo vehicular manual durante dos semanas para determinar el índice diario promedio, así como el modelamiento del trazado vial mediante el software AutoCAD Civil 3D. Asimismo, se evaluaron las características geométricas en planta, perfil y sección transversal, comparándolas con la normativa vigente, además del análisis de índices de accidentabilidad y consistencia geométrica. Como resultados, se evidenció que la carretera presenta múltiples incumplimientos en sus elementos geométricos, ausencia de señalización, una alta inconsistencia geométrica en más del 70 % del tramo, así como un elevado índice de peligrosidad, registrándose además tres accidentes con heridos asociados a pendientes pronunciadas y trazados deficientes. Finalmente, se concluye que la vía presenta condiciones inseguras, requiriendo intervenciones urgentes para optimizar su diseño geométrico y mejorar la seguridad vial, contribuyendo al bienestar de la población y al desarrollo de la zona.

Según Rojas (2021), en la investigación titulada “Análisis del diseño geométrico y seguridad vial en ingresos a zonas rurales de Lima Provincias”, el objetivo fue determinar el diseño geométrico y la seguridad vial en los ingresos a zonas rurales, con la finalidad de establecer criterios de diseño mediante la aplicación de técnicas computacionales. En cuanto

a la metodología, la población estuvo conformada por los ingresos a zonas rurales de Lima Provincias y la muestra por distritos como Oyón, Churín, Vegueta, Cajatambo, Sayán y Pativilca; el estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cualitativo y diseño no experimental de nivel descriptivo, empleando técnicas de recopilación de información, análisis documental, procesamiento de datos mediante herramientas como Excel y MS Project, así como evaluación de parámetros geométricos y condiciones de señalización vial. Como resultados, se evidenció que los ingresos a zonas rurales presentan un deficiente diseño geométrico y ausencia de señalización horizontal, además de haber sido diseñados considerando un vehículo tipo C2, cuando en la actualidad predominan los semitrailers, lo que incrementa significativamente el riesgo de accidentes y la inseguridad vial. Finalmente, se concluye que el diseño geométrico y la seguridad vial no son adecuados, siendo necesario establecer nuevos criterios de diseño que consideren las condiciones reales de tránsito y el tipo de vehículo predominante, a fin de reducir la accidentabilidad y mejorar la seguridad en estos accesos.

En el trabajo realizado por Cachaye, Chávez y Marquina (2021), en la tesis titulada “Diseño geométrico de la carretera de bajo volumen de tránsito en la localidad de Sitabamba, La Libertad”, tuvo como objetivo elaborar el diseño geométrico de una carretera de bajo volumen de tránsito con la finalidad de mejorar la transitabilidad en la zona de estudio. La metodología aplicada incluyó levantamientos topográficos detallados utilizando estación total y GPS, conteo vehicular para determinar el flujo de tránsito, análisis del terreno y diseño de estructuras complementarias como alcantarillas y badenes, siguiendo los reglamentos técnicos vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El objetivo principal del estudio fue elaborar un diseño geométrico que optimice la transitabilidad y la seguridad vial, adecuando la carretera a las condiciones geográficas y socioeconómicas del área. Los resultados evidenciaron que la vía actual presenta deficiencias significativas, como radios de curva inapropiados, sistemas de drenaje deteriorados y una velocidad directriz limitada a 20

km/h, lo que afecta la seguridad y funcionalidad. Finalmente, se concluyó que el trazado geométrico planteado contribuye a mejorar la accesibilidad, reducir riesgos de accidentes, fomentar el desarrollo económico local, facilitar la gestión de mantenimiento y optimizar los costos asociados. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación, ya que demuestra la importancia de aplicar criterios técnicos adecuados en el diseño geométrico de carreteras de bajo volumen de tránsito, así como la necesidad de integrar estudios topográficos, de tráfico y de suelos para obtener soluciones eficientes. Asimismo, sirve como base metodológica para el desarrollo del presente estudio, al evidenciar cómo un adecuado diseño vial puede impactar positivamente en la seguridad, transitabilidad y calidad de vida de la población beneficiaria.

De acuerdo con el estudio realizado por Perez (2023), “Evaluación de la coherencia del trazado geométrico de la carretera Canchaque–Huancabamba mediante las medidas de seguridad de R. Lamm”, tuvo como objetivo determinar el nivel de seguridad de los elementos geométricos y del trazado completo, a fin de identificar sectores críticos con riesgo elevado de accidentes; empleó una metodología de tipo no experimental, de diseño transeccional y nivel descriptivo, basada en la recolección de datos geométricos del trazado y perfil de la carretera (población), considerando como muestra el tramo analizado, aplicando el cálculo de la tasa de cambio de curvatura (CCRs), la velocidad del percentil 85 (V85) y la evaluación mediante tres criterios de consistencia de diseño de R. Lamm; los resultados evidenciaron que la consistencia del diseño fue “pobre” según los criterios I y III y “buena” según el criterio II, obteniendo una calificación global “tolerable”, concluyéndose que el trazado presenta deficiencias en homogeneidad y seguridad dinámica, aunque permite orientar mejoras para reducir accidentes y optimizar la seguridad vial..

Según el estudio realizado por Heredia y Pérez (2023), en el estudio titulado “Propuesta de parámetros geométricos para optimizar la seguridad activa en la planificación del trazado

de vías rurales en la carretera Balconcillo–Cruce San Andrés", tuvo como objetivo establecer criterios de diseño geométrico que minimicen la accidentalidad y mejoren la funcionalidad de trochas carrozables; empleó una metodología de tipo no experimental, de diseño transeccional y nivel descriptivo, basada en la revisión comparativa de normativas nacionales e internacionales, el análisis estadístico de la relación entre los elementos geométricos y las tasas de accidentes, así como la validación de los parámetros propuestos mediante la evaluación del camino vecinal utilizando software especializado; los resultados evidenciaron que el diseño original presentaba deficiencias en la geometría horizontal, vertical y en la sección transversal, lo que afectaba la seguridad vial y elevaba los costos de mantenimiento; concluyéndose que la adopción de los parámetros propuestos permite mejorar la seguridad activa, incrementar la estabilidad del camino y optimizar los costos a largo plazo, proponiendo además un modelo estandarizado aplicable a trochas carrozables en contextos similares.

En el estudio realizado por Condori (2024), en la investigación titulada "Diseño geométrico para la mejora de la seguridad vial en el tramo Accanta–Rayo Pampa, Ayacucho", tuvo como objetivo proponer un diseño geométrico que garantice un tránsito seguro y eficiente, considerando las condiciones topográficas y la proyección del incremento del flujo vehicular al año 2043; empleó una metodología de tipo experimental, con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, considerando como población la vía en estudio y como muestra el tramo Accanta–Rayo Pampa, aplicando el examen técnico de seguridad vial, la evaluación de la condición geométrica existente, la elaboración del diseño conforme a la normativa DG-2018 mediante el software ISTRAM y el uso del método predictivo del Manual de Seguridad Vial HSM (2010); los resultados evidenciaron deficiencias en la geometría y señalización de la vía actual, mientras que el diseño propuesto cumplió con los parámetros normativos, incorporando curvas seguras, secciones transversales adecuadas y señalización eficiente, estimándose además una reducción aproximada del 30 % en la ocurrencia de siniestros viales.

### 3.1.3. *A nivel local*

Según el estudio realizado por Caballero y Ríos (2022), en la investigación titulada “Impacto del trazado geométrico en la seguridad vehicular en el tramo Allpachaca–Chontay, distrito de Pichirhua, Abancay, Apurímac”, tuvo como objetivo determinar la relación entre la configuración geométrica de la vía y la seguridad vehicular, así como proponer mejoras en sus dimensiones de planta, perfil y sección transversal; empleó una metodología aplicada, de diseño no experimental y nivel descriptivo-correlacional, utilizando la inspección directa y el levantamiento de información mediante instrumentos validados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la Policía Nacional del Perú, considerando como población 21,440 metros de vía y como muestra representativa 6,000 metros; los resultados evidenciaron una relación favorable pero de baja magnitud entre el trazado geométrico y la seguridad vial, identificándose diversos tramos que no cumplen con la normativa vigente y que coinciden con la ocurrencia de accidentes fatales y no fatales; finalmente, se concluyó que, pese a la débil relación estadística encontrada, la adecuada implementación de un diseño geométrico conforme a la normativa es fundamental para mejorar la seguridad y funcionalidad de la vía, reducir los siniestros viales y contribuir al bienestar de la población local.

De acuerdo con el estudio realizado por Huarniz (2024), en la investigación titulada “Evaluación de los parámetros geométricos de la trocha carrozable Puente Huayquipa–Huayquipa”, tuvo como objetivo evaluar y comparar los parámetros geométricos horizontales, verticales y transversales de la vía, contrastándolos con las normativas de diseño vial vigentes en países andinos, a fin de proponer un diseño geométrico adecuado; empleó una metodología no experimental de tipo descriptivo, basada en levantamientos topográficos mediante GPS diferencial y una evaluación detallada de las características geométricas del tramo; los resultados evidenciaron que la mayoría de los parámetros, como radio mínimo, distancia de visibilidad de parada, pendientes, sobreanchos y ancho de calzada, no cumplen con los

estándares normativos, reflejando deficiencias en la transitabilidad y la seguridad vial; finalmente, se concluyó que es necesario adecuar el diseño geométrico conforme a las normativas internacionales para mejorar la seguridad y funcionalidad de la vía, beneficiando a las comunidades locales y optimizando su uso.

## 3.2. Bases teóricas

A continuación, desarrolla el sustento conceptual y normativo que respalda la configuración geométrica de la vía objeto de estudio, considerando como base principal el Manual de Carreteras DG-2018, así como criterios técnicos complementarios. En este marco, se abordan los fundamentos relacionados con los elementos longitudinales y transversales del trazado vial, las variables técnicas de diseño vinculados a la seguridad, funcionalidad y capacidad operativa, así como las características de los vehículos de diseño y las condiciones de tránsito consideradas. Estos conceptos permiten definir un marco metodológico coherente, que asegure la correcta implementación de los estándares técnicos requeridos para el desarrollo del proyecto, asegurando su viabilidad técnica y su adecuación a las exigencias del entorno.

### 3.2.1. *Clasificación de carreteras y criterios de diseño*

#### 3.2.1.1. Clasificación por demanda

La categorización de carreteras constituye un componente fundamental del diseño geométrico, ya que determina los parámetros técnicos que deben adoptarse para asegurar la funcionalidad y seguridad del sistema vial. Según la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC, 2019), la jerarquización de la red vial no depende únicamente del volumen de tránsito, sino también del papel funcional de la vía dentro de la red de transporte, su nivel de conectividad, la accesibilidad territorial y el grado de servicio que se pretende ofrecer. Este proceso de categorización permite establecer estándares geométricos diferenciados como la dimensión de la calzada, la cantidad de carriles, el control de accesos, la velocidad de diseño

y la superficie de rodadura que garantizan la coherencia entre la eficiencia vial y las características de operación del tráfico. La adecuada identificación de la clase de carretera es, por tanto, esencial para el diseño, la rehabilitación o la evaluación técnica de una vía, pues condiciona directamente los criterios de seguridad, comodidad y eficiencia del transporte.

Seguidamente, se expone la clasificación de vías según el criterio de demanda:

**Tabla 1**

*Clasificación de carreteras por demanda*

| **Tipo de carretera (DG-2018 Secc. 101)** | **Criterios normativos principales** | **Interpretación técnica** |
|---|---|---|
| Autopista de Primera Clase | IMDA > 6 000 veh/día; calzadas separadas ≥ 6.00 m; ≥ 2 carriles de 3.60 m c/u; control total de accesos; sin cruces a nivel; superficie pavimentada. | Corresponde a vías de alta capacidad, flujo continuo, orientadas a tránsito rápido y seguro, con estándar similar a vías expresas. |
| Autopista de Segunda Clase | IMDA 4 001–6 000 veh/día; separador central 1.00–6.00 m; control parcial de accesos; pavimentada. | Carreteras de enlace regional con moderada densidad vehicular y control limitado de accesos. Permite pasos a nivel bajo medidas de seguridad. |
| Carretera de Primera Clase | IMDA 2 001–4 000 veh/día; calzada de dos carriles ≥ 3.60 m; cruces a nivel permitidos; pavimentada. | Carreteras nacionales o departamentales de importancia logística; su geometría debe garantizar velocidades moderadas-altas y seguridad operacional. |
| Carretera de Segunda Clase | IMDA 400–2 000 veh/día; calzada dos carriles ≥ 3.30 m; pavimentada; pasos a nivel permitidos. | Red vial departamental o provincial; tránsito mixto y topografía variable; prioriza conectividad y seguridad básica. |
| Carretera de Tercera Clase | IMDA < 400 veh/día; calzada dos carriles ≥ 3.00 m (mín. 2.50 m con sustento); superficie estabilizada o afirmada. | Vías rurales básicas o económicas; priorizan transitabilidad más que velocidad; geometría simplificada. |
| Trocha Carrozable | IMDA < 200 veh/día; ancho mínimo 4.00 m + plazoletas de cruce cada 500 m; afirmada o sin afirmar. | Vías de acceso local o agrícola; no cumplen con estándares geométricos de carretera. |

***Nota.*** La tabla muestra la categorización de las carreteras según su demanda vehicular y criterios normativos principales, relacionándolos con su interpretación técnica y funcional. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.1.2. Clasificación por orografía

La orografía del terreno constituye uno de los factores más determinantes dentro de la configuración geométrica de una vía, ya que incide en directamente en los parámetros de alineamiento, la magnitud del traslado de suelos, la estabilidad de taludes y el costo de construcción. De acuerdo con la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2018), la selección de los parámetros geométricos debe considerar los rasgos del relieve del terreno predominantes, de modo que la carretera se adecue a la topografía existente con el menor impacto ambiental y económico posible, manteniendo al mismo tiempo niveles adecuados de seguridad y comodidad para el usuario (Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2018).

Los criterios orográficos permiten establecer una distinción entre los diferentes tipos de terreno a partir de sus características geométricas, principalmente las pendientes transversales y longitudinales. Estos factores condicionan la selección de las variables geométricas del diseño vial, entre ellas la velocidad de proyecto, los radios mínimos en curvatura, las inclinaciones máximas admisibles y la configuración de las secciones transversales. De esta manera, la clasificación orográfica se convierte en una herramienta esencial para garantizar que el trazado de la carretera se adapte de forma eficiente y segura al relieve natural. En el caso peruano, el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 incorpora esta clasificación incluyendo bases técnicas y así aplicar controles geométricos acordes con la complejidad topográfica del país, permitiendo optimizar la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura vial en diversas condiciones de terreno. Asimismo, esta clasificación facilita la toma de decisiones en la etapa de planificación y diseño, al orientar la selección de alternativas técnicas viables según el tipo de terreno predominante. De igual manera, contribuye a reducir costos de construcción y mantenimiento al promover soluciones adaptadas a las condiciones naturales del entorno.

**Tabla 2**

*Clasificación de carreteras por orografía*

| Tipo de terreno (DG-2018, Secc. 102) | Características geométricas normativas | Interpretación técnica |
|---|---|---|
| Terreno plano (Tipo 1) | Pendientes transversales ≤ 10 %; pendientes longitudinales ≤ 3 %; mínimo movimiento de tierras. | Corresponde a zonas con topografía uniforme y suelos estables. Permite trazos rectos, radios amplios y pendientes reducidas, lo que favorece altas velocidades de diseño y bajo costo constructivo. |
| Terreno ondulado (Tipo 2) | Pendientes transversales entre 11 % – 50 %; pendientes longitudinales entre 3 % – 6 %; movimiento de tierras moderado. | Topografía de transición con ondulaciones suaves. Admite alternancia entre tramos rectos y curvas amplias. Las velocidades de diseño deben ajustarse para garantizar confort y visibilidad. |
| Terreno accidentado (Tipo 3) | Pendientes transversales entre 51 % – 100 %; pendientes longitudinales 6 % – 8 %; requiere movimientos de tierra importantes. | Zonas montañosas donde la adaptación del trazo exige cortes y rellenos significativos. Las condiciones geométricas limitan radios de curva y obligan a controlar la visibilidad y la consistencia del diseño. |
| Terreno escarpado (Tipo 4) | Pendientes transversales > 100 %; pendientes longitudinales > 8 %; máximo movimiento de tierras. | Relieve abrupto que presenta severas restricciones al trazado. El diseño debe priorizar la estabilidad, el drenaje y la seguridad sobre la velocidad. Demanda soluciones de ingeniería complejas y costosas. |

***Nota.*** La tabla expone la clasificación de los tipos de terreno según sus características geométricas y condiciones topográficas, destacando cómo influyen en el diseño, la seguridad y los costos de construcción de las vías. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.1.3. Velocidad de diseño y su relevancia

La rapidez proyectada representa el valor más alto que puede mantenerse de manera segura y confortable en condiciones favorables a lo largo de un tramo de carretera. Su selección prioriza la seguridad vial y la consistencia del trazado, evitando variaciones bruscas que puedan sorprender al conductor (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Para asegurar uniformidad, el proyectista debe identificar tramos homogéneos, es decir, segmentos con condiciones topográficas similares que permitan asignar una misma velocidad.

Según el Manual DG-2018, la distancia mínima de estos tramos es de 3 km en rangos entre 20 y 50 km/h, y de 4 km en rangos entre 60 y 120 km/h. Además, la diferencia entre velocidades de trazado en vías consecutivos debe ser menor a 20 km/h, reduciéndose a 10 km/h cuando los cambios topográficos son abruptos.

**Tabla 3**

***Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera***

| Clasificación | Orografía | Velocidad de diseño de un tramo homogéneo (VTR) [km/h] |
|---|---|---|
| Autopista de primera clase | Plano | 100 – 130 |
| | Ondulado | 80 – 110 |
| | Accidentado | 70 – 100 |
| | Escarpado | 60 – 90 |
| Autopista de segunda clase | Plano | 90 – 120 |
| | Ondulado | 70 – 100 |
| | Accidentado | 60 – 90 |
| | Escarpado | 50 – 80 |
| Carretera de primera clase | Plano | 80 – 110 |
| | Ondulado | 60 – 90 |
| | Accidentado | 50 – 80 |
| | Escarpado | 40 – 70 |
| Carretera de segunda clase | Plano | 70 – 100 |
| | Ondulado | 50 – 80 |
| | Accidentado | 40 – 70 |
| | Escarpado | 30 – 60 |
| Carretera de tercera clase | Plano | 60 – 90 |
| | Ondulado | 40 – 70 |
| | Accidentado | 30 – 60 |
| | Escarpado | 30 – 50 |

***Nota.*** Se presenta los parámetros de rapidez de diseño según la clase de carretera y tipo de terreno, utilizados para definir parámetros geométricos y de seguridad vial. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

Tomando así de referencia los lineamientos y estándares técnicos de diseño contemplados en este Manual, así como los fundamentos expuestos previamente, la Tabla 4

recopila los valores normativos de velocidad máxima de operación determinados según la clase de el tramo vial, el tipo de tránsito vehicular y las condiciones del relieve predominantes.

**Tabla 4**

***Valores de velocidades máximas de operación***

| Clasificación de la carretera | | Vehículos ligeros | Vehículos pesados – Buses | Vehículos pesados – Camiones |
|---|---|---|---|---|
| Autopista de primera clase | (1) | 130 km/h | 100 km/h | 90 km/h |
| | (2) | 120 km/h | 90 km/h | 80 km/h |
| | (3) | 100 km/h | 80 km/h | 70 km/h |
| | (4) | 90 km/h | 70 km/h | 60 km/h |
| Autopista de segunda clase | (1) | 120 km/h | 90 km/h | 80 km/h |
| | (2) | 110 km/h | 80 km/h | 70 km/h |
| | (3) | 100 km/h | 80 km/h | 70 km/h |
| | (4) | 90 km/h | 70 km/h | 60 km/h |
| Carretera de primera clase | (1) | 100 km/h | 90 km/h | 80 km/h |
| | (2) | 100 km/h | 80 km/h | 70 km/h |
| | (3) | 90 km/h | 70 km/h | 60 km/h |
| | (4) | 80 km/h | 60 km/h | 50 km/h |

***Nota.*** La tabla presenta los valores de velocidad máxima de operación en base la clase de vía y clase de vehículo. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

Donde:

- O. plana (1)
- O. ondulada (2)
- O. accidentada (3)
- O. escarpada (4)

### 3.2.2. *Criterios y controles del diseño geométrico*

La configuración geométrica debe orientarse a obtener una vía con parámetros dimensionales y de alineamientos adecuados, cuyo nivel de servicio que cubra los requerimientos de tránsito proyectada, garantizando la factibilidad económica y en concordancia con lo dispuesto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

### 3.2.2.1. Controles de visibilidad

#### 3.2.2.1.1. Distancia de visibilidad

Corresponde al segmento de la vía que el conductor es capaz de visualizar de forma continua hacia adelante, lo cual facilita la ejecución segura de las maniobras requeridas o las que decida ejecutar (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

- Distancia de visibilidad de parada.

  Para determinar esta distancia sobre superficies húmedas se emplean dos fórmulas: la Ecuación 1 para desniveles de 0 % a 3% y la Ecuación 2 para desniveles superiores a 3%:

$$D_p = 0.278 \times V \times t_p + 0.039 \times \frac{V^2}{a} \quad \text{..... Ecuación 1}$$

  En vías cuya pendiente excede el 3%, ya sea en tramos ascendentes o descendentes, el cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$D_p = 0.278 \times V \times t_p + \frac{V^2}{254\left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm i\right)} \quad \text{..... Ecuación 2}$$

  Para lo cual:

  $D_p$: distancia de parada, m.

  $t_p$: tiempo de percepción y reacción, 2.5 s.

  V: velocidad de diseño, km/h.

  a: desaceleración que depende del coeficiente de fricción y la pendiente longitudinal, 3.4 m/s2.

  +i: pendiente de subida respecto al sentido de circulación, en decimal.

  -i: pendiente de bajadas respecto al sentido de circulación, en decimal.

En la Tabla 5 se detallan las distancias de parada para pendientes entre 0% y 3%, de acuerdo con la velocidad de diseño; asimismo, la Tabla 5 presenta los valores

correspondientes a pendientes superiores al 3%, en función de la velocidad y del gradiente vial.

**Tabla 5**

***Distancia de parada para pendientes de 0% a 3%***

| Distancia de visibilidad de parada, m | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad de diseño, km/h | Distancia de percepción reacción, m | Distancia durante el frenado a nivel, m | Distancia de visibilidad de parada Calculada, m | Redondeada, m |
| 20 | 13.90 | 4.60 | 18.50 | 20 |
| 30 | 20.90 | 10.30 | 31.20 | 35 |
| 40 | 27.80 | 18.40 | 46.20 | 50 |
| 50 | 34.80 | 28.70 | 63.50 | 65 |
| 60 | 41.70 | 41.30 | 83.00 | 85 |
| 70 | 48.70 | 56.20 | 104.90 | 105 |
| 80 | 55.60 | 73.40 | 129.00 | 130 |
| 90 | 62.60 | 92.90 | 155.50 | 160 |
| 100 | 69.50 | 114.70 | 184.20 | 185 |
| 110 | 76.50 | 138.80 | 215.30 | 220 |
| 120 | 93.40 | 165.20 | 248.60 | 250 |
| 130 | 90.40 | 193.80 | 284.20 | 285 |

***Nota.*** La tabla muestra las longitudes de visibilidad de parada calculadas con distintas medidas de rapidez en pendientes entre 0 % y 3 %, utilizadas para garantizar maniobras seguras de frenado. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

Para las curvas horizontales se requiere mantener un área interior despejada de obstáculos que permita garantizar distancias adecuadas de parada y adelantamiento. Dicho despeje máximo, medido en la parte central de la curva, se determina aplicando el método analítico o el método gráfico.

El procedimiento ilustrativo puede emplearse en dos casos: cuando la distancia $D_p$ o $D_a$ es menor que el desarrollo de la curva circular (Caso I) y cuando dicha distancia es mayor que dicho desarrollo (Caso II).

**Tabla 6**

***Distancia de parada para pendientes mayores a 3%***

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

***Nota.*** La tabla muestra las distancias de visibilidad de parada correspondientes a los distintos parámetros de diseño en tramos con pendientes superiores al 3 %, diferenciando entre ascensos y descensos. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.2.2. Factores de diseño: vehículo de diseño, IMDA

#### 3.2.2.2.1. Vehículos de diseño

La planificación geométrica de las vías debe alinearse considerando las categorías de vehículos, sus dimensiones, pesos y demás características operativas especificaciones establecidas en el RN de Vehículos actuales.

Las dimensiones y proporciones de las distintas unidades que transitan en la vía son determinantes para la configuración geométrica del proyecto. Por ello, es necesario analizar los diferentes tipos de vehículos, agruparlos y elegir un modelo ejemplar para cada grupo. Estos vehículos seleccionados, que reflejan dimensiones, pesos y condiciones de operación típicas, se denominan vehículos de diseño y sirven como referencia para la definición de los criterios geométricos del proyecto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

**Tabla 7**

***Dimensiones y características de los vehículos de diseño***

| Tipo de vehículo | Alto total (m) | Ancho total (m) | Vuelo lateral (m) | Ancho ejes (m) | Largo total (m) | Radio mín. rueda exterior (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vehículo ligero (VL) | 1.30 | 2.10 | 0.15 | 1.80 | 5.80 | 7.30 |
| Ómnibus de dos ejes (B2) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 12.30 | 12.80 |
| Ómnibus de tres ejes (B3-1) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 14.40 | 13.70 |
| Ómnibus de cuatro ejes (B4-1) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 16.50 | 13.70 |
| Ómnibus articulado (BA-1) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 18.30 | 12.80 |
| Semirremolque simple (T2S1) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 18.30 | 12.80 |
| Remolque simple (C2R1) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 23.00 | 12.80 |
| Semirremolque doble (T3S2S2) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 23.00 | 13.70 |
| Semirremolque remolque (T3S2S1S2) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 23.00 | 13.70 |
| Semirremolque simple (T3S3) | 4.10 | 2.60 | 0.00 | 2.60 | 20.50 | 13.70 |

***Nota.*** La tabla detalla las medidas y especificaciones de las unidades utilizadas como referencia en el diseño geométrico de carreteras, incluyendo medidas de altura, ancho, largo y radios mínimos de giro. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.2.2.2. Giro mínimo de vehículos tipo

El espacio mínimo necesario para realizar una rotación de 180 grados en dirección horaria se establece tomando en cuenta la trayectoria seguida por la rueda delantera izquierda que define la trayectoria exterior y la de la rueda trasera derecha que determina la trayectoria interior. El radio de giro mínimo, determinado por el diseño del vehículo, define dicha trayectoria exterior y constituye una característica propia de fabricación (MTC, 2018). En este sentido, la adecuada consideración de estos parámetros resulta fundamental para garantizar maniobras seguras y eficientes, especialmente en intersecciones y curvas cerradas.

**Tabla 8**

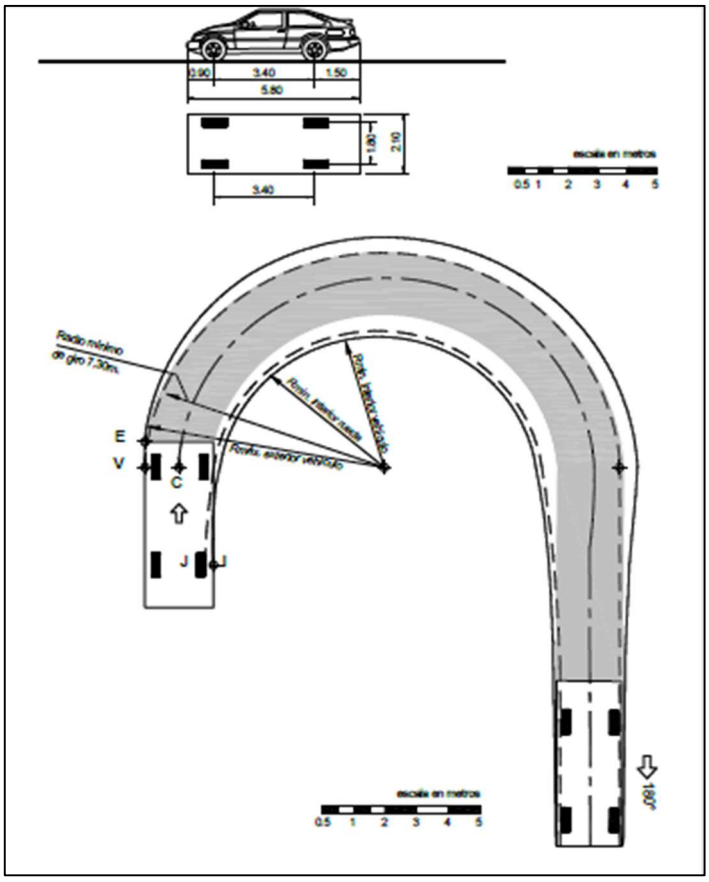
***Parámetros de giro del Vehículo ligero (VL) según ángulo de trayectoria***

| Ángulo de trayectoria | Rmáx exterior vehículo (E) | Rmín interior vehículo (I) | Rmín interior rueda (J) | Ángulo máximo de dirección |
|---|---|---|---|---|
| 30° | 7.76 m | 5.14 m | 5.28 m | 17.8° |
| 60° | 7.84 m | 4.73 m | 4.88 m | 24.2° |
| 90° | 7.87 m | 4.59 m | 4.74 m | 26.4° |
| 120° | 7.88 m | 4.54 m | 4.69 m | 27.3° |
| 150° | 7.88 m | 4.52 m | 4.67 m | 27.3° |
| 180° | 7.88 m | 4.51 m | 4.66 m | 27.7° |

***Nota.*** La tabla presenta los parámetros de giro del vehículo ligero en función del ángulo de trayectoria, mostrando los radios exteriores e interiores y el ángulo máximo de dirección. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

**Figura 1**

***Giro mínimo para vehículos ligeros (VL) Trayectoria 180º***




***Nota.*** La figura ilustra el radio mínimo requerido por un vehículo ligero para completar un giro de 180°, considerando el espacio lateral de seguridad. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.2.2.3. Índice medio diario anual (IMDA)

La IMDA representa el valor medio por dia-anual de vehículos que circulan por una sección vial, y sirve para evaluar la importancia de la vía y su viabilidad económica. Este valor permite definir el diseño geométrico, la clasificación de la vía y los planes de rehabilitación y conservación vial. Se calcula considerando el tránsito actual y su crecimiento proyectado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

#### 3.2.2.2.4. Clasificación por tipo de vehículo

Indica, en términos porcentuales, la proporción que representa cada categoría de vehículo dentro del IMDA.

**Tabla 9**

***Clasificación de vehículos según categoría y subcategoría***

| Categoría | Descripción general | Subcategorías | Criterios distintivos |
|---|---|---|---|
| L | Vehículos automotores con menos de 4 ruedas | L1 | 2 ruedas, ≤ 50 cm³ y ≤ 50 km/h |
| | | L2 | 3 ruedas, ≤ 50 cm³ y ≤ 50 km/h |
| | | L3 | 2 ruedas, > 50 cm³ o > 50 km/h |
| | | L4 | 3 ruedas asimétricas, > 50 cm³ o > 50 km/h |
| | | L5 | 3 ruedas simétricas, > 50 cm³ o > 50 km/h y PBV ≤ 1 t |
| M | Vehículos de 4 ruedas o más para transporte de pasajeros | M1 | ≤ 8 asientos (sin contar el del conductor) |
| | | M2 | > 8 asientos y PBV ≤ 5 t |
| | | M3 | > 8 asientos y PBV > 5 t |
| | Clases (para M2 y M3): | Clase I | Pasajeros de pie con desplazamiento frecuente |
| | | Clase II | Principalmente sentados, admite pasajeros de pie en áreas limitadas |
| | | Clase III | Solo para pasajeros sentados |
| N | Vehículos de 4 ruedas o más para transporte de mercancías | N1 | PBV ≤ 3.5 t |
| | | N2 | PBV > 3.5 t hasta 12 t |
| | | N3 | PBV > 12 t |
| O | Remolques y semirremolques | O1 | PBV ≤ 0.75 t |
| | | O2 | PBV > 0.75 t hasta 3.5 t |
| | | O3 | PBV > 3.5 t hasta 10 t |
| | | O4 | PBV > 10 t |

***Nota.*** En esta tabla se agrupan las principales categorías y subcategorías vehiculares según su tipo, peso y función de transporte. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.3. *Diseño geométrico en planta*

#### 3.2.3.1. Alineamientos horizontales: tangentes, curvas, transiciones

##### 3.2.3.1.1. Tramos en tangentes

Las dimensiones límite, tanto mínima como máxima recomendadas para los segmentos rectos de la vía, determinadas en relación con la rapidez de diseño, esto se determina en la Tabla 10.

Las longitudes están determinadas con las estas ecuaciones:

- L min.s : 1.39 V …….. Ecuación 3
- L min.o : 2.78 V …….. Ecuación 4
- L máx : 16.70 V …….. Ecuación 5

**Tabla 10**

***Longitudes de tramos en tangente***

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

***Nota***. *Se evidencia un resume las distancias sugeridas para los tramos en línea de la vía, establecidas en base de la rapidez de diseño y la continuidad del trazado. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).*

### 3.2.3.1.2. Curvas circulares

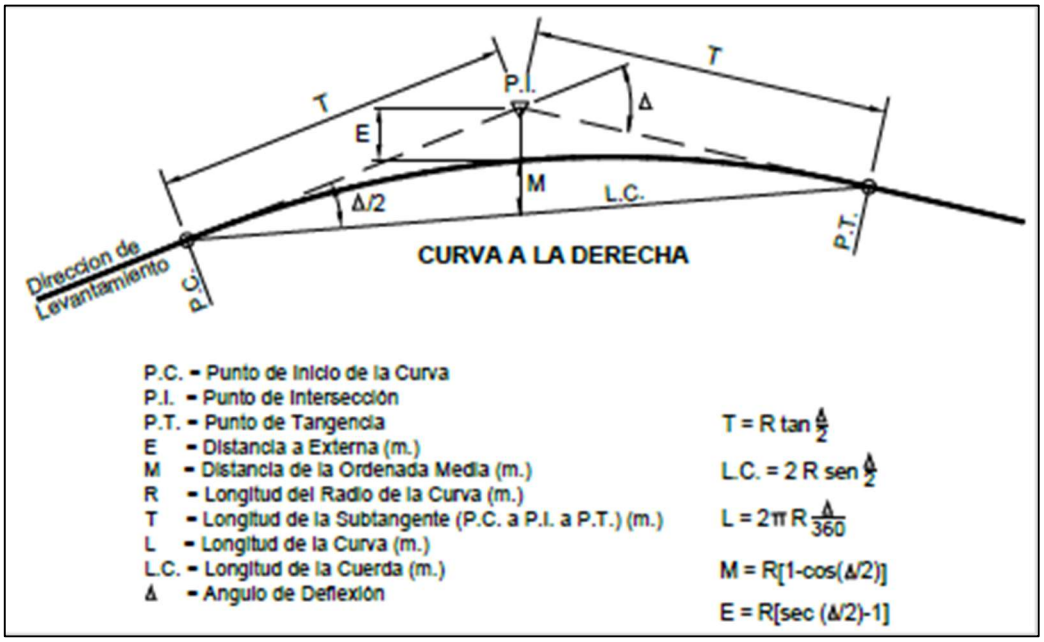
Las secciones curvas de geometría circular sencilla constituyen elementos geométricos esenciales del trazado vial en planta. Estas se caracterizan por poseer un único radio constante de curvatura, el cual permite la transición controlada entre dos tramos rectos consecutivos del alineamiento. Su función principal es garantizar la continuidad direccional del eje de la carretera, manteniendo condiciones adecuadas de seguridad, confort y operación vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

- Elementos de la curva circular

  Los componentes y la terminología empleada correspondientes a las curvas de trazado horizontal circular que se presentan a continuación deberán emplearse de manera estándar, sin alteraciones en su denominación ni en su aplicación técnica (MTC, 2018).

**Figura 2**

***Simbología de la curva circular***




***Nota.*** Se muestran las principales características geométricos de una curva circular empleados para enlazar tramos rectos del trazado. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

❖ Radios mínimos

Los límites inferiores del radio de curvatura horizontal constituyen un parámetro crítico en el diseño geométrico, pues definen el valor mínimo que puede adoptarse para asegurar la circulación vehicular a la velocidad de proyecto sin comprometer la estabilidad dinámica del vehículo. Este valor resulta de la interacción entre la velocidad directriz, la inclinación transversal máxima de la calzada admisible y el coeficiente de fricción transversal disponible. Su determinación se realiza mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática, de acuerdo con lo establecido por el MTC (2018):

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(P_{máx}+f_{máx})} \quad \text{..... Ecuación 6}$$

Para lo cual:

- $R_{mín}$ : Radio Mínimo
- V : Velocidad de diseño
- $P_{máx}$ : Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).
- $f_{máx}$ : Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V.

Los valores obtenidos a partir a partir de la utilización de la ecuación correspondiente se presentan en la Tabla 11, donde se detallaron los radios mínimos de curvatura calculados según las distintas velocidades de diseño y las condiciones topográficas y operativas del tramo, identificándose aquellos sectores que no cumplían con los parámetros normativos. Este análisis resultó fundamental para evaluar el grado de seguridad y funcionalidad de las curvas horizontales existentes en el tramo, especialmente en lugares con pendientes pronunciadas o visibilidad reducida, donde el control vehicular se ve comprometido por la geometría del trazado.

**Tabla 11**

***Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras***

| Ubicación de la vía | Velocidad de diseño (km/h) | Peralte máximo D máx (%) | Coeficiente de fricción lateral f máx | Radio calculado (m) | Radio redondeado (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Área rural (plano u ondulada) | 30 | 8.00 | 0.17 | 27.0 | 25 |
| | 40 | 8.00 | 0.17 | 48.2 | 50 |
| | 50 | 8.00 | 0.16 | 82.1 | 85 |
| | 60 | 8.00 | 0.14 | 125.4 | 125 |
| | 70 | 8.00 | 0.13 | 175.4 | 175 |
| | 80 | 8.00 | 0.12 | 241.3 | 240 |
| | 90 | 8.00 | 0.13 | 303.7 | 305 |
| | 100 | 8.00 | 0.11 | 446.4 | 450 |
| | 110 | 8.00 | 0.10 | 501.5 | 500 |
| | 120 | 8.00 | 0.09 | 657.0 | 650 |
| | 130 | 8.00 | 0.08 | 835.4 | 835 |
| Área rural (accidentada o escarpada) | 30 | 12.00 | 0.17 | 24.4 | 25 |
| | 40 | 12.00 | 0.17 | 44.4 | 45 |
| | 50 | 12.00 | 0.15 | 70.3 | 70 |
| | 60 | 12.00 | 0.14 | 105.0 | 105 |
| | 70 | 12.00 | 0.14 | 148.4 | 145 |
| | 80 | 12.00 | 0.12 | 193.3 | 195 |
| | 90 | 12.00 | 0.11 | 258.1 | 260 |
| | 100 | 12.00 | 0.10 | 321.4 | 320 |
| | 110 | 12.00 | 0.09 | 438.1 | 435 |
| | 120 | 12.00 | 0.08 | 565.4 | 565 |
| | 130 | 12.00 | 0.08 | 665.4 | 665 |

***Nota.*** Se presenta los radios mínimos de curvatura y los valores máximos de peralte establecidos para distintas velocidades y condiciones de vía, garantizando seguridad y confort en la conducción. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018)

#### 3.2.3.1.3. Curvas de transición

Las curvas de transición corresponden a tramos en forma de espiral que permiten suavizar los cambios de curvatura del trazado horizontal, impidiendo discontinuidades en el trazo. La configuración proyectada debe asegurar los mismos parámetros de seguridad, comodidad y uniformidad visual similares a los del conjunto de los elementos geométricos de la vía. Para lograr el paso progresivo entre la sección transversal con bombeo característica de los tramos en tangente y la sección peraltada y con sobreancho de las curvas, se incorpora un elemento intermedio denominado

longitud de transición, donde se efectúa progresivamente dicho cambio geométrico (MTC, 2018).

**Tabla 12**

***Ventajas del uso de la clotoide como curva de transición***

| Aspecto | Ventaja técnica de la clotoide |
|---|---|
| Uniformidad en la conducción | El incremento gradual de la curvatura genera un movimiento estable y confortable, debido a que la fuerza centrífuga varía de manera progresiva mientras el vehículo entra o sale de la curva, manteniendo una velocidad y trayectoria constantes dentro del carril. |
| Confort y control dinámico | La aceleración lateral residual se regula de manera gradual, evitando molestias a los ocupantes y mejorando la estabilidad vehicular durante el cambio de dirección. |
| Aplicación progresiva del peralte | Permite que el peralte se desarrolle de forma progresiva, aumentando la inclinación transversal de la calzada conforme aumenta la curvatura, favoreciendo el equilibrio del vehículo. |
| Adaptabilidad y estética del trazo | La flexibilidad geométrica de la clotoide posibilita una mejor adaptación al relieve natural, manteniendo la continuidad del trazado, contribuyendo a una mayor coherencia visual y estética de la vía. |

***Nota.*** La tabla resume las ventajas geométricas y operativas de la clotoide, destacando su capacidad para distribuir gradualmente la curvatura y mejorar la estabilidad del vehículo durante la maniobra. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

La fórmula de clotoide (Euler) es:

$$R * L = A^2 \qquad \text{..... Ecuación 7}$$

Para lo cual:

- R : radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L : Longitud de la curva entre su punto de inflexión (R =∞) y el punto de radio R.
- A : Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

En el punto inicial, se da L = 0, R = ∞, así como L = ∞, R = 0

- ❖ Cálculo del parámetro correspondiente a la curva de transición

La magnitud mín. ($A_{min}$) se determina considerando una clotoide diseñada para reasignar gradualmente la aceleración lateral no equilibrada, de acuerdo con una dimensión de variación (J) que garantice parámetros óptimos de seguridad y confort. Su cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$A_{mín} = \sqrt{\left(\frac{V^2}{R} - 1.27\rho\right)\frac{V*R}{46.656*J}} \quad \text{..... Ecuación 8}$$

Para lo cual:

- V : Velocidad de diseño (km/h)
- R : Radio de curvatura (m)
- J : Variación uniforme de la aceleración (m/s3)
- P : Peralte correspondiente a V y R. (%)

Se tomarán para J los valores establecidos en la Tabla 14.

**Tabla 13**

***Cambio de la aceleración lateral en función del tiempo***

| **Velocidad de diseño (V)** ***(km/h)*** | **Tasa de variación recomendada J** ***(m/s³)*** | **Tasa máxima admisible Jmáx** ***(m/s³)*** |
|---|---|---|
| V < 80 | 0.5 | 0.7 |
| 80 < V < 100 | 0.4 | 0.8 |
| 100 < V < 120 | 0.4 | 0.5 |
| V ≥ 120 | 0.4 | 0.4 |

***Nota.*** Se muestra las magnitudes sugeridas de la tasa de variación de la aceleración lateral, los cuales permiten un cambio progresivo de curvatura y garantizan confort y seguridad en la conducción. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

❖ Evaluación de la extensión de la curva de transición

Las longitudes mínimas de las curvas de transición se calculan mediante la siguiente expresión:

$$L_{mín} = \frac{V}{46.656j}\left[\frac{V^2}{R} - 1.27\rho\right] \text{.....Ecuación 9}$$

Para lo cual:

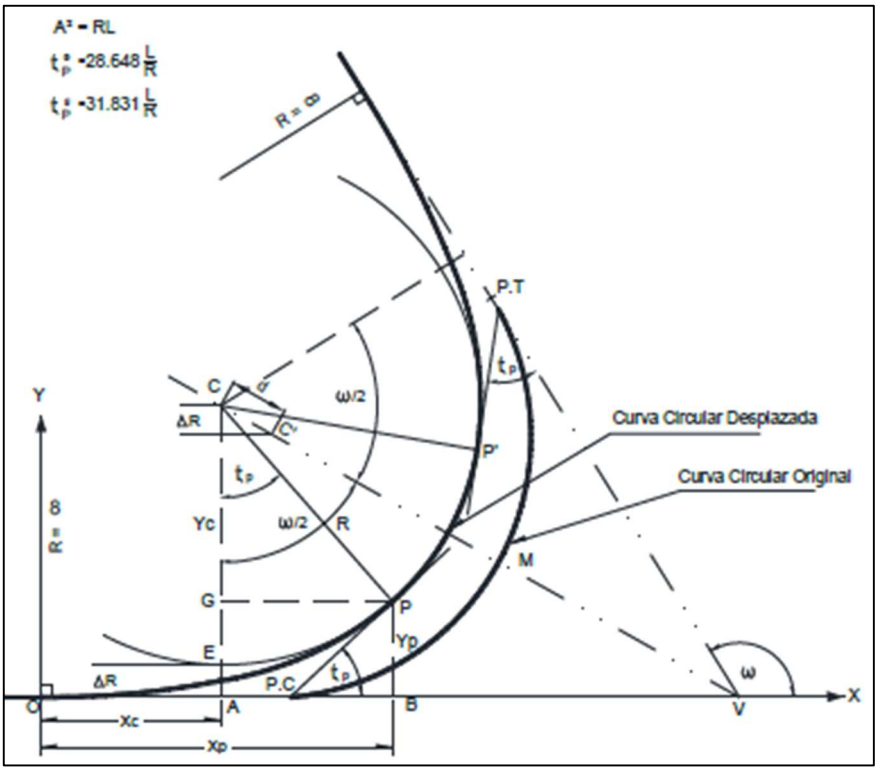
- V : (km/h)
- R : (m)
- J : m / s³
- p : %

❖ Componentes y propiedades de la curva de transición

Las Figura 3, representan los componentes y las propiedades generales de la curva de transición:

**Figura 3**

***Aspectos geométricos del enlace transición–curva circular***




***Nota.*** La figura representa los componentes geométricos que intervienen en el enlace gradual entre la curva de enlace y la curva circular principal, asegurando continuidad y estabilidad del trazado. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.3.1.4. Curvas compuestas

Se conforman por un conjunto de curvas simples con radios distintos, alineadas con el mismo sentido de giro y dispuestas de manera consecutiva. En lo posible, se recomienda evitar

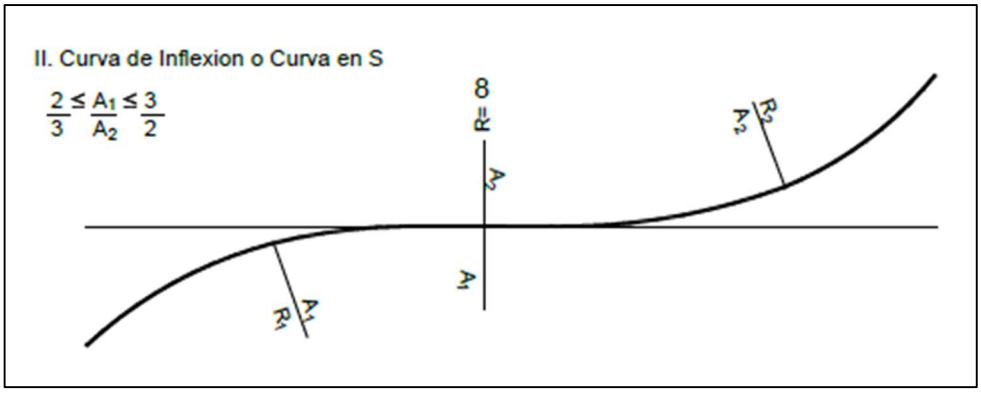
este tipo de configuración, procurando reemplazarla por una sola curva, especialmente en carreteras de Tercera Clase, donde su uso debe restringirse al máximo (MTC, 2018).

- Curva de inflexión o curva en “S”

  Entre las clotoides con limites A1 y A2 puede o no existir un tramo recto, siempre que se respeten las condiciones generales vinculadas a la rapidez de trazado y al radio-enlace, manteniendo las magnitudes iguales o de magnitud similar conforme a lo señalado en la figura 4. Cuando no sea posible lograr una conexión tangencial precisa en el punto donde el radio tiende a infinito por restricciones de espacio u otras limitaciones, se admite un pequeño traslape entre las clotoides o un tramo recto de ajuste, siempre que su longitud no exceda el límite permitido (MTC, 2018).

**Figura 4**

***Configuración recomendada en “S”***




***Nota.*** La figura ilustra la disposición óptima de curvas en “S”, donde las clotoides facilitan una transición uniforme entre radios opuestos. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

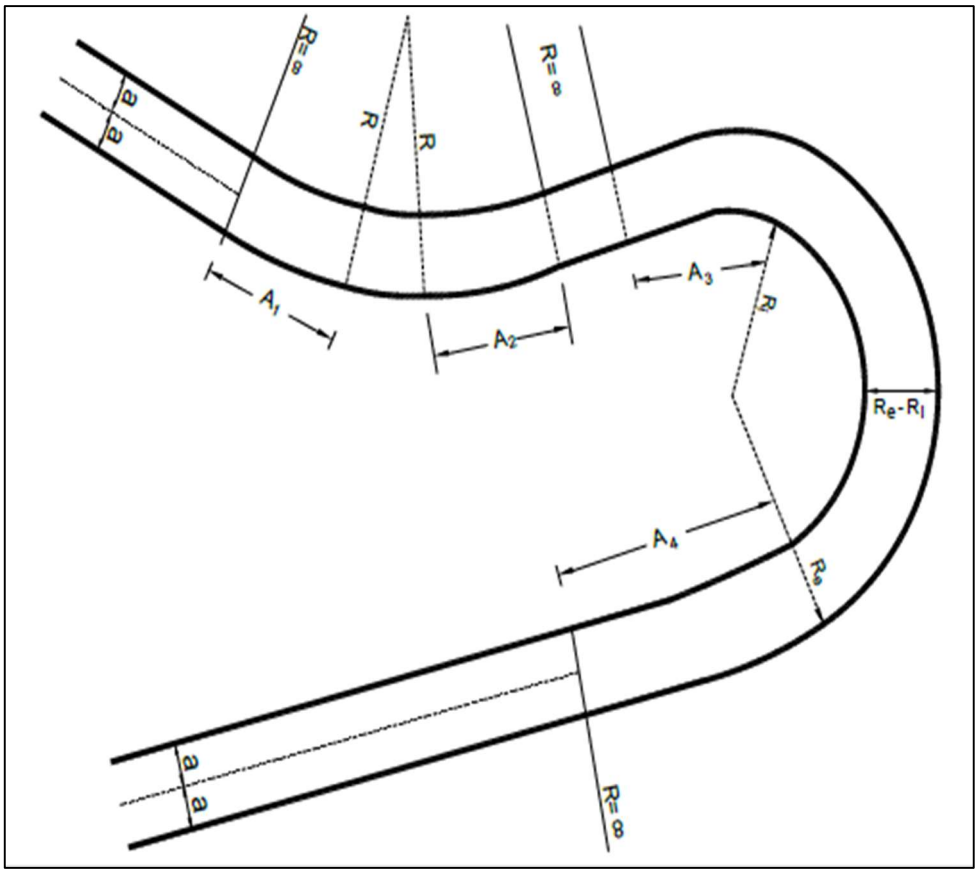
### 3.2.3.1.5. Curvas de vuelta

Se trata de curvas trazadas sobre laderas en terrenos accidentados, cuyo objetivo es ganar altura manteniendo las pendientes dentro de los límites máximos permitidos establecidas, especialmente cuando no es posible aplicar otros alineamientos variados. Estas

no son permitidas en pistas y, en carreteras de Primera Clase, solo se emplearían de manera excepcional bajo justificación técnica y económica, exigiéndose un radio interior mínimo de 20 metros (MTC, 2018).

**Figura 5**

***Tramos de ingreso y egreso de la curva de giro***




***Nota.*** La figura muestra la disposición en tramos de ingreso y partida en curvas de vuelta, utilizadas para optimizar el ascenso en lugares de pendiente pronunciada. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.3.1.6. Sobreancho

Se refiere al aumento del ancho de la calzada en las secciones curvas, con el fin de cubrir el ambiente adicional que requieren las unidades vehiculares al maniobrar en estas condiciones (MTC, 2018).

En curvas con radios reducidos o intermedios, y según el tipo vehicular que circula con frecuencia, es necesario incorporar un ensanche destinado a asegurar una separación segura entre vehículos que circulan en sentidos opuestos, se adelantan en unidireccionales o circulan próximos a los bordes. Este sobreancho corresponde cuando incrementa la sección transversal utilizado por el vehículo al girar, más las holguras teóricas establecidas. Cabe señalar que dicho incremento no deberá efectuarse reduciendo el ancho de la berma.

**Tabla 14**

***Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60 m de ancho***

| Calzada de 7.20 m | En recta | En curva ensanchada | Calzada de 6.00 m | En recta | En curva ensanchada |
|---|---|---|---|---|---|
| $h_1$ | 0.5 m | 0.6 m | $h_1$ | 0.3 m | 0.45 m |
| $h_2$ | 0.4 m | 0.4 m | $h_2$ | 0.1 m | 0.05 m |
| $h_2$ ext | 0.4 m | 0.0 m | $h_2$ ext | 0.1 m | 0.0 m |

***Nota.*** La tabla presenta las holguras mínimas requeridas entre vehículos y bordes de calzada para asegurar maniobras seguras en rectas y curvas. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

Para lo cual:

- h1 : holgura entre cada vehículo y el eje demarcado.
- h2 : holgura entre la cara exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior del carril por el que circula (en recta) o de la última rueda de un vehículo simple o articulado y el borde interior de la calzada en curvas.
- h2 ext : holgura entre el extremo exterior del parachoques delantero y el borde exterior de la calzada, h2 ext ≈ h2 en recta y h2 ext = 0 en curvas ensanchadas.

### 3.2.4. *Diseño geométrico en perfil longitudinal*

#### 3.2.4.1. Pendientes máximas/mínimas según clase de carretera

El alineamiento vertical está formado por tramos rectos conectados con curvas parabólicas que suavizan el cambio entre pendientes, asegurando continuidad y manteniendo la rapidez de planeación. La superficie de la vía condiciona el tipo de curva y la distancia de

visibilidad. Una transición adecuada entre pendientes evita quiebres en la rasante y garantiza las condiciones operativas del proyecto, considerando topografía, visibilidad y velocidad de proyecto (MTC, 2018).

#### 3.2.4.1.1. Pendiente mínima

Se sugiere adoptar diferencia de altura longitudinal inferior del 0.5 % como valor de referencia para asegurar un drenaje superficial eficiente a lo largo de toda la calzada, evitando la acumulación de agua y el deterioro prematuro del pavimento. No obstante, dicho valor puede ajustarse de manera excepcional según las particularidades del terreno, la estructura del drenaje lateral, el tipo de pavimento y las condiciones específicas del proyecto (MTC, 2018).

**Tabla 15**

***Pendientes mínimas recomendadas según condiciones de calzada***

| Caso | Condición | Pendiente mínima permitida |
|---|---|---|
| 1 | Calzada con bombeo de 2% y sin bermas ni cunetas | Hasta 0.2% (excepcional) |
| 2 | Calzada con bombeo de 2.5% | Puede adoptarse pendiente igual a 0% (excepcional) |
| 3 | Existen bermas | Deseable: 0.5% / Excepcional: 0.35% |
| 4 | Secciones de cambio de peralte donde la pendiente transversal es nula | 0.5% mínima |

***Nota.*** Se indica las pendientes mínimas admisibles en distintas condiciones de calzada, garantizando el adecuado drenaje superficial y la funcionalidad del diseño. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.4.1.2. Pendiente máxima

Se recomienda respetar las inclinaciones límite de la Tabla 17; sin embargo, en lugares por encima de 3,000 msnm deben reducirse en 1% en zonas de topografía irregular o accidentada, mientras que en vías con inclinación descendentes pueden incrementarse hasta en 2% sobre el valor máximo establecido (MTC, 2018).

**Tabla 16**

***Pendientes máximas según orografía – 3° clase***

| | **Carreteras de tercera clase: < 400 veh/d** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Orografía<br>Velocidad de diseño, km/h | Plano | Ondulado | Accidentado | Escarpado |
| 30 | | | 10.00 | 10.00 |
| 40 | 8.00 | 9.00 | 10.00 | |
| 50 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | |
| 60 | 8.00 | 8.00 | | |
| 70 | 7.00 | 7.00 | | |
| 80 | 7.00 | 7.00 | | |
| 90 | 6.00 | 6.00 | | |

***Nota.*** Se muestra las magnitudes máximas de pendiente permitidos para carreteras de tercera clase según el tipo de terreno, garantizando condiciones seguras de operación. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

- Pendientes máximas excepcionales: se emplearon en tramos con restricciones topográficas que impidieron cumplir la pendiente normativa.

**Tabla 17**

***Consideraciones para carreteras de Tercera Clase***

| **Nº** | **Condición** | **Requisito / Límite** |
|---|---|---|
| 1 | Ascenso continuo con pendientes > 5% | Se debe proyectar un tramo de descanso cada 3 km aproximadamente, con longitud ≥ 500 m y pendiente ≤ 2%, previa evaluación técnica y económica. |
| 2 | Pendientes > 10% | La distancia en secciones con esta pendiente no debe exceder los 180 m. |
| 3 | Longitud del tramo > 2,000 m | La inclinación estándar máxima debe ser inferior 6%. |
| 4 | Curvas con radios menores a 50 m | Se deben evitar pendientes mayores al 8%, ya que el lado interior de la curva experimenta un aumento significativo de pendiente. |

***Nota.*** La tabla resume las condiciones especiales que limitan la longitud y pendiente de tramos en vías de tercera clase, asegurando su operatividad y seguridad. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.4.2. Curvas verticales (convexas y cóncavas): criterios de visibilidad de parada/adelantamiento

Los tramos de rasante se enlazan por medio de curvas verticales parabólicas siempre que la variación entre inclinaciones consecutivas exceda el 1 % en vías pavimentadas o el 2 % para carreteras no pavimentadas. Estas curvas permiten una transición gradual en el perfil longitudinal, evitando quiebres bruscos que puedan afectar el confort del usuario o la seguridad operativa vehicular. Su diseño se basa en el parámetro K, definido como la longitud horizontal requerida por cada 1 % de diferencia en la inclinación. Este límite constituye un indicador clave de la suavidad del cambio de rasante y depende principalmente de la velocidad proyectada, las condiciones topográficas y los criterios de visibilidad de parada establecidos para la vía. (MTC, 2018).

$$K = L/A \quad \text{..... Ecuación 10}$$

Para lo cual:

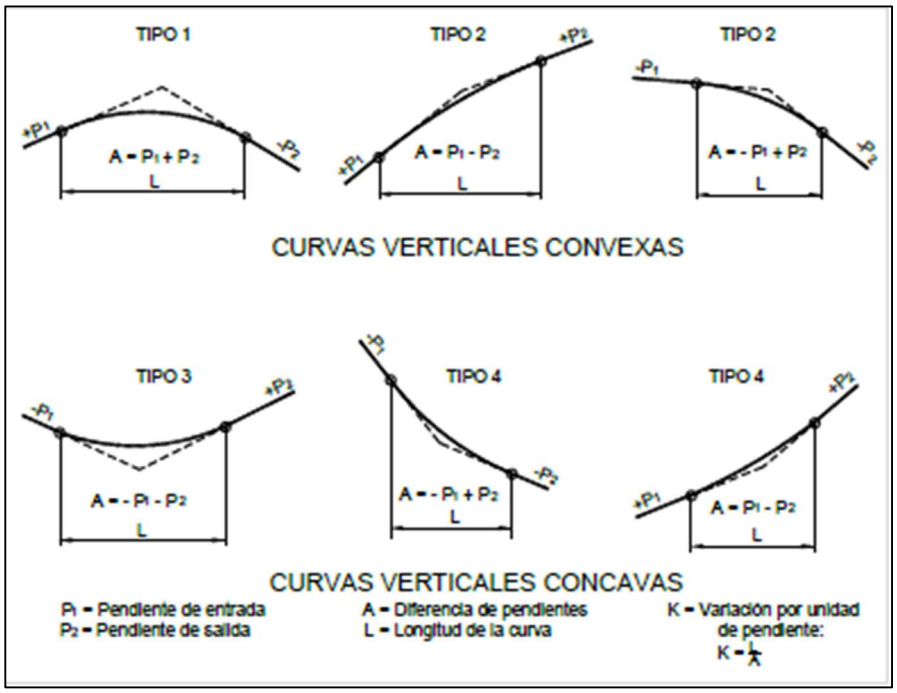
- K : Parámetro de curvatura
- L : Longitud de la curva vertical
- A : Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

##### 3.2.4.2.1. Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales se clasifican atendiendo tanto a su forma geométrica como a la relación entre las pendientes que conectan. Desde el punto de vista morfológico, se denominan convexas cuando el vértice se orienta hacia arriba, uniendo una pendiente descendente con otra ascendente, mientras que son cóncavas cuando el vértice se orienta hacia abajo, enlazando una pendiente ascendente con una descendente. La Figura 6 ilustra gráficamente estas configuraciones, que permiten una transición suave en el perfil longitudinal y aseguran la comodidad y seguridad del usuario (MTC, 2018).

**Figura 6**

***Clasificación de las curvas verticales convexas y cóncavas***




***Nota.*** La ilustración representa las clases de curvas verticales-convexas y cóncavas, así como su condición simétrica o asimétrica, utilizadas para lograr una transición continua en el perfil longitudinal. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

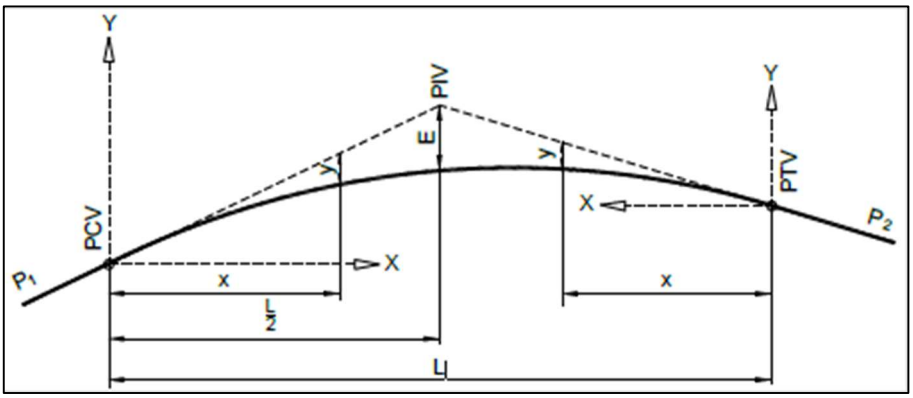
Los arcos convexos están conformados por dos líneas de pendiente opuesta que se enlazan mediante una curva vertical, la cual puede presentar una configuración simétrica o asimétrica, dependiendo de la magnitud y relación de las pendientes involucradas. Este tipo de curva se caracteriza por presentar una forma de “cresta”, donde el punto más alto se ubica en la zona central del arco (MTC, 2018).

- Curva vertical simétrica

  Es aquella en la que las longitudes de entrada y salida son iguales, generando una transición uniforme entre dos pendientes. Este tipo de curva permite una variación progresiva del perfil longitudinal, favoreciendo la comodidad y seguridad en la circulación vehicular (MTC, 2018).

**Figura 7**

***Elementos de C.V. Simétrica***

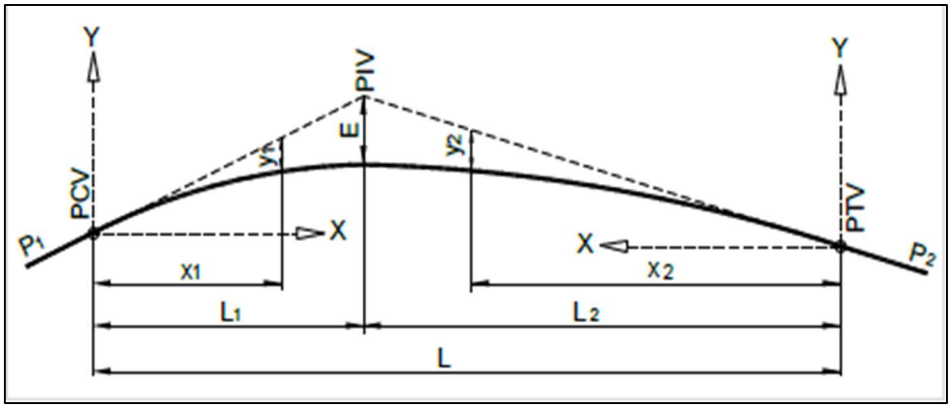



***Nota.*** Se observan en la figura los elementos más destacados geométricos que conforman una curva vertical parabólica, utilizados para definir la transición entre pendientes en el perfil de la vía. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

- Curva vertical asimétrica: es una curva en el perfil longitudinal en la que las longitudes de las tangentes de entrada y salida son diferentes, utilizada para adaptarse a condiciones específicas del terreno y garantizar una transición segura entre pendientes.

**Figura 8**

***Elementos de C.V. Asimétrica***




***Nota.*** La figura representa la configuración típica de curvas verticales convexas y cóncavas, empleadas para suavizar los cambios de pendiente y conservar la visibilidad de parada. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.4.2.2. Longitud de curvas convexas

La extensión de las curvas verticales convexas se obtiene aplicando las ecuaciones:

- Con la distancia de visibilidad de parada:

Para Dp <= L:

$$L = \frac{A \times {D_p}^2}{100\left(\sqrt{2 \times h_1} + \sqrt{2 \times h_2}\right)^2} \quad \text{.....Ecuación 11}$$

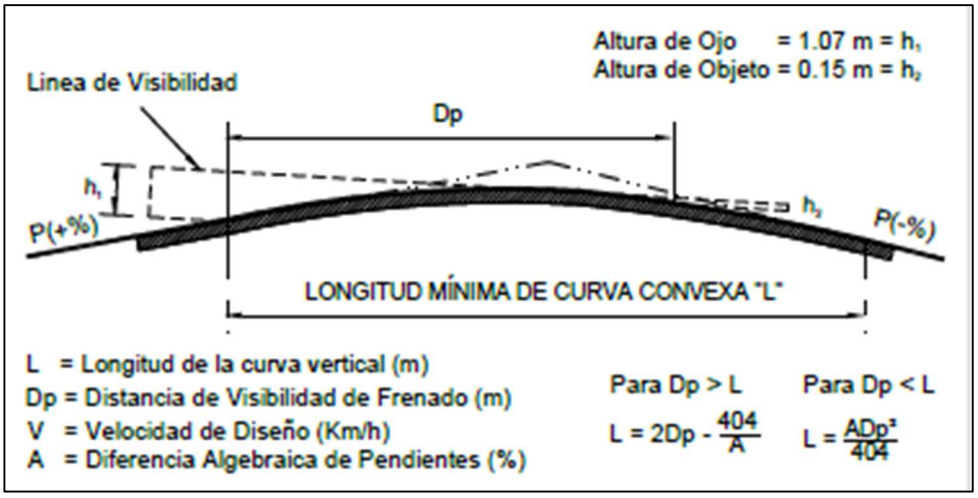
$$L = 2\,D_p - \frac{200\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)}{A} \quad \text{.....Ecuación 12}$$

Para lo cual:

- L: longitud de curva vertical, m.
- Dp: distancia de parada, m.
- A: diferencia algebraica de pendientes, %.
- h1: altura del ojo sobre rasante, m.
- h2: altura del objeto sobre rasante, m.

**Figura 9**

***Diagrama de curva vertical convexa según la distancia de detención (Relación entre el parámetro K)***




***Nota.*** La figura muestra la aplicación del parámetro K como indicador de la distancia necesaria de un arco vertical, asegurando transiciones suaves y visibilidad adecuada en el perfil de la vía. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

- Con la distancia de visibilidad requerida para el sobrepaso seguro:

  Las expresiones mostradas permiten calcular la distancia requerida de una curva vertical convexa tomando en cuenta la distancia de visibilidad para el adelantamiento (Da) y la diferencia entre pendientes sucesivas (A). Cuando la visibilidad disponible no supera la longitud de la curva, la ecuación describe una relación cuadrática entre ambas variables. Cuando la visibilidad es mayor, se utiliza una fórmula lineal que asegura una línea de visión continua y transiciones suaves en el perfil, favoreciendo la seguridad en los adelantamientos. Estas fórmulas aseguran seguridad y visibilidad en el perfil longitudinal (MTC, 2018). Asimismo, la adecuada determinación de estos parámetros permite garantizar que el conductor disponga del tiempo y la distancia necesarios para realizar maniobras de sobrepaso de manera segura. De igual forma, contribuye a reducir el riesgo de colisiones frontales en tramos con limitada visibilidad. En este sentido, el diseño correcto de las curvas verticales convexas es fundamental para mantener condiciones operativas seguras en la vía.

  Para Da<= L:

  $$L = \frac{A \times D_{a^2}}{946} \quad \text{..... Ecuación 13}$$

  Para Da > L:

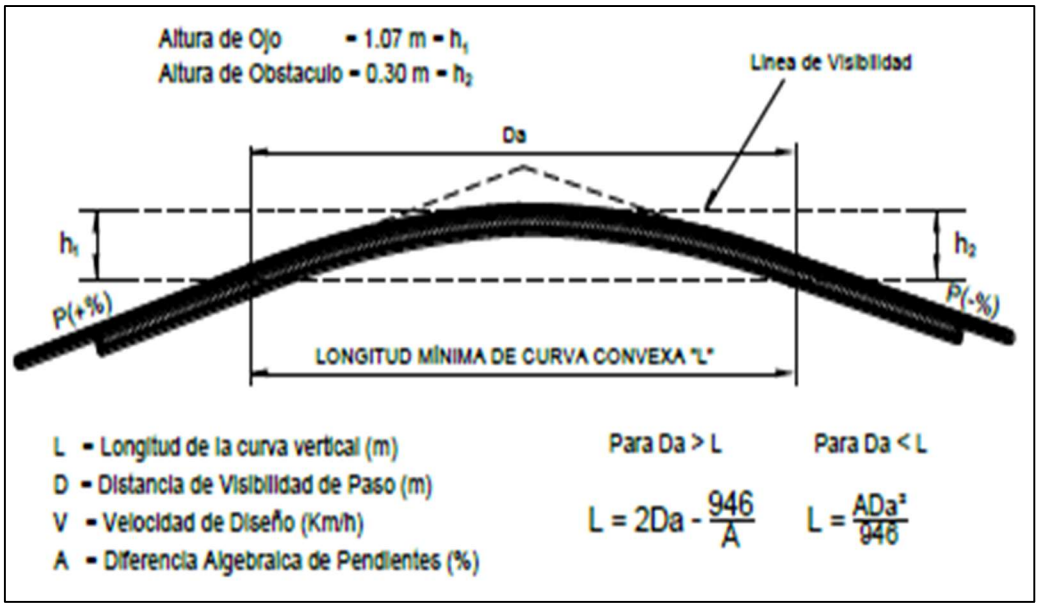
  $$L = 2D_a - \frac{946}{A} \text{ ..... Ecuación 14}$$

  Para lo cual:

  - L: longitud de curva vertical, m.
  - Da: distancia adelantamiento m.
  - A: diferencia algebraica de pendientes, %.

**Figura 10**

***Diagrama de curva vertical convexa según la distancia de visibilidad para el adelantamiento (aplicación del parámetro K).***




***Nota.*** La figura presenta un ejemplo de cómo se aplica el parámetro K para definir longitudes de curvas verticales en un perfil combinado, garantizando una transición uniforme y visibilidad adecuada. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

Teniendo en cuenta los conceptos previamente descritos, la Tabla 18 presenta los valores del índice de curvatura correspondientes a las curvas verticales convexas en carreteras de tercera clase, determinados según la velocidad de proyecto.

Para el cálculo de dicho índice, cuando se considera la distancia de detención, se adopta una altura del ojo del conductor de 1.08 m y una altura del objeto de 0.60 m mientras que, al emplear la distancia de adelantamiento como referencia, se utiliza una altura del ojo de 1.07 m y una altura del objeto de 1.30m.

**Tabla 18**

*Valores de K para el cálculo de longitud de curva vertical convexa*

| Velocidad de diseño, km/h | Longitud controlada por visibilidad de parada | | Longitud controlada por visibilidad de paso | |
|---|---|---|---|---|
| | Distancia de visibilidad de parada | Índice de curvatura K | Distancia de visibilidad de paso | Índice de curvatura K |
| 20 | 20 | 0.6 | | |
| 30 | 35 | 1.9 | 200 | 46 |
| 40 | 50 | 3.8 | 270 | 84 |
| 50 | 65 | 6.4 | 345 | 138 |
| 60 | 85 | 11.0 | 410 | 195 |
| 70 | 105 | 17.0 | 485 | 272 |
| 80 | 130 | 26.0 | 540 | 338 |
| 90 | 160 | 39.0 | 615 | 438 |

***Nota.*** La tabla proporciona los valores mínimos del parámetro K que deben considerarse en el diseño de curvas verticales convexas y cóncavas, garantizando visibilidad suficiente y una transición suave entre pendientes. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.5. *Diseño de la sección transversal*

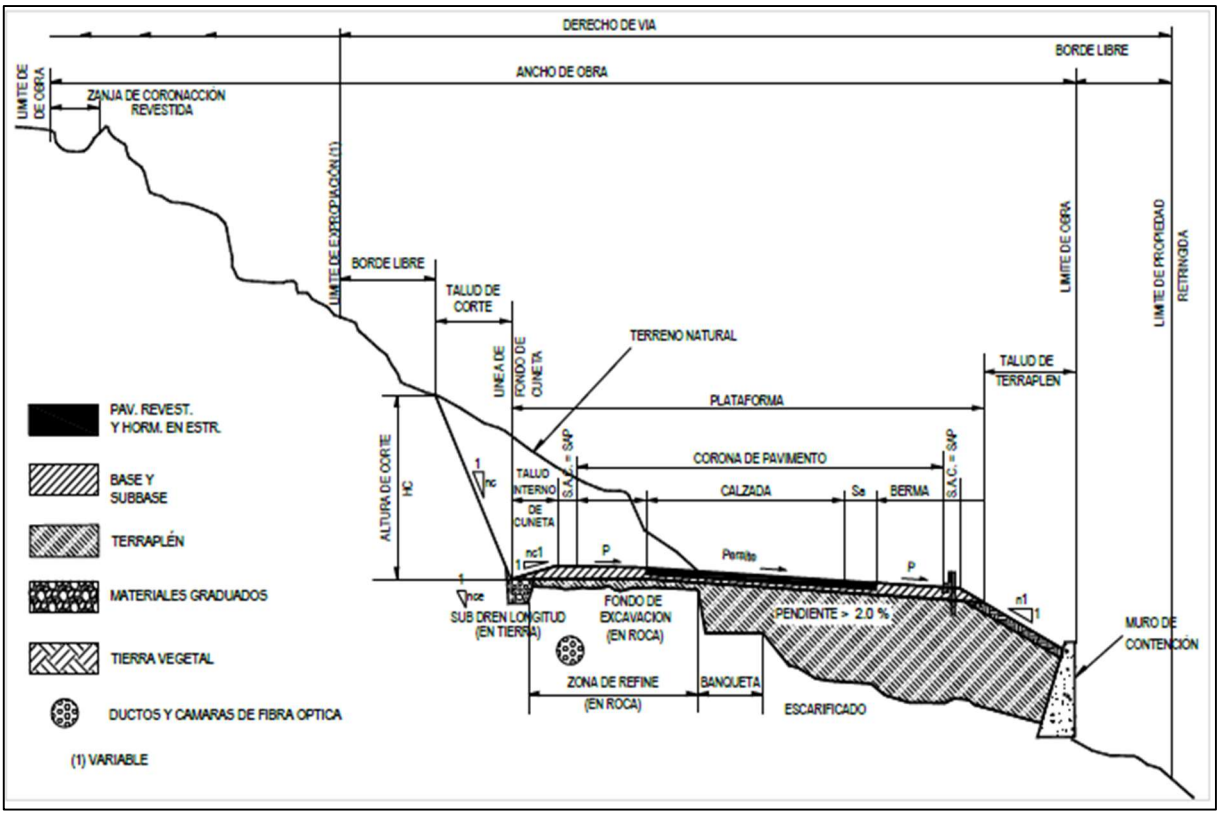
Establece las medidas y disposición de características de la vía según el terreno y las necesidades de operación. La calzada es el componente principal y su configuración puede adaptarse en zonas especiales, como intersecciones o áreas comerciales, para garantizar seguridad y nivel de servicio (MTC, 2018). Asimismo, una adecuada definición de sus dimensiones permite optimizar la circulación vehicular y reducir conflictos entre los diferentes usuarios de la vía. De igual manera, contribuye a mejorar las condiciones de operación, especialmente en tramos con alta demanda o características geométricas restrictivas.

#### 3.2.5.1. Elementos de la sección transversal: calzada, bermas, bombeo, taludes

La configuración transversal de una vía está compuesta por los carriles de circulación, la calzada, las bermas, las cunetas, los taludes y los elementos complementarios, como las barreras de seguridad y los ductos o guardavías, todos ubicados en el ámbito del derecho de vía correspondiente al proyecto (MTC, 2018)

**Figura 11**

***Sección transversal típica a media ladera vía de dos carriles en curva (elementos).***




***Nota.*** La figura muestra los componentes básicos que integran la configuración transversal de una vía, diseñados para garantizar estabilidad, drenaje eficiente y seguridad en la circulación. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.5.1.1. Calzada

La calzada constituye el espacio destinado específicamente a la circulación vehicular dentro del perfil transversal de la vía está integrado por uno o más carriles dispuestos longitudinalmente, diseñados para permitir el desplazamiento ordenado y seguro de los automóviles que se desplazan en igual sentido de circulación. Su ancho depende de la categoría de la vía, la velocidad de diseño, el tipo de vehículo predominante y las condiciones operativas del entorno. La capa de rodadura debe asegurar uniformidad, adecuada adherencia y resistencia estructural frente a las cargas dinámicas. (MTC, 2018).

***Tabla 19***

***Criterios para la determinación de carriles y sus dimensiones***

| Aspecto | Descripción |
|---|---|
| Determinación del número de carriles | Se basa de acuerdo con las proyecciones y la composición vehicular establecidas por el IMDA de diseño y el nivel de servicio adoptado requerido. |
| Consideración de carriles de adelantamiento | No se incluyen en el número total de carriles. |
| Anchos permitidos de carril | 3.00 m, 3.30 m y 3.60 m. |
| Mínimo en autopistas | 2 carriles por calzada. |
| Carreteras de calzada única | 2 carriles en total. |

***Nota.*** La tabla indica las pendientes transversales sugeridas para distintos tipos de superficie, orientadas a facilitar el drenaje superficial y mantener la seguridad en la circulación. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

- Ancho de calzada

En secciones lineales se define en función del nivel operativo de la vía esperado al término del tiempo de trasado; el número como el ancho de los carriles deben establecerse por medio de un examen de habilidad. (MTC, 2018).

**Tabla 20**

***Anchos mínimos de calzada en tangente***

| | **Carreteras de tercera clase: < 400 veh/d** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Orografía<br>Velocidad de diseño, km/h | Plano | Ondulado | Accidentado | Escarpado |
| 30 | | | 6.00 | 6.00 |
| 40 | 6.60 | 6.60 | 6.00 | |
| 50 | 6.60 | 6.60 | 6.00 | |
| 60 | 6.60 | 6.60 | | |
| 70 | 6.60 | 6.60 | | |

***Nota.*** La tabla presenta los anchos de carril recomendados para cada tipo de vía, determinados según la clase de tránsito y los criterios de operación segura. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.5.1.2. Bermas

Corresponde a una banda longitudinal situada junto a la plataforma que contiene la capa de rodadura y funciona como espacio seguro, permitiendo la parada en ocasiones de emergencia (MTC, 2018).

Sin considerar el tipo de acabado superficial, la berma tiene que conservar la misma altura e inclinación transversal de la plataforma, y según el análisis técnico-económico, se construye con elementos parecidos a la plataforma. En autopistas, cada plataforma dispone de bermas al interior y exterior, siendo las interiores más angostas; en tramos de plataformas únicos, ambas deben tener la sección transversal. Además de facilitar la operación y seguridad del tránsito, la berma puede servir para proteger el pavimento, permitir paradas eventuales y actuar como lugar seguro de maniobras en caso de que un vehículo abandone la calzada.

- Ancho de berma

La Tabla 21 define la longitud de las bermas según la categoría de la carretera, la rapidez de trazo y las condiciones de orografía.

**Tabla 21**

***Anchos de bermas***

| | **Carreteras de tercera clase: < 400 veh/d** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Orografía<br>Velocidad de diseño, km/h | Plano | Ondulado | Accidentado | Escarpado |
| 30 | | | 0.50 | 0.50 |
| 40 | 1.20 | 0.90 | 0.50 | |
| 50 | 1.20 | 0.90 | 0.90 | |
| 60 | 1.20 | 1.20 | | |
| 70 | 1.20 | 1.20 | | |

***Nota.*** Se muestra los anchos mín. de bermas según la rapidez de diseño. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

- Inclinación de bermas

Para tramos donde la plataforma cuenta con pavimento, la berma debe adoptar una pendiente transversal que siga estrictamente los criterios técnicos establecidos, garantizando la adecuada conducción y evacuación del agua hacia los sistemas de drenaje lateral. Este tratamiento geométrico es fundamental para evitar infiltraciones, deterioro prematuro del pavimento y pérdida de capacidad estructural en los bordes de la vía (MTC, 2018).

En el caso de carreteras con superficie afirmada y alineamientos rectos, la berma debe mantener la misma inclinación que la calzada, permitiendo un flujo continuo del escurrimiento superficial y reduciendo la posibilidad de formación de encharcamientos o erosión localizada. Esta disposición asegura la estabilidad funcional del borde de la plataforma vial y contribuye al comportamiento hidráulico uniforme, preservando las condiciones de seguridad operacional y vida útil de la infraestructura.

**Tabla 22**

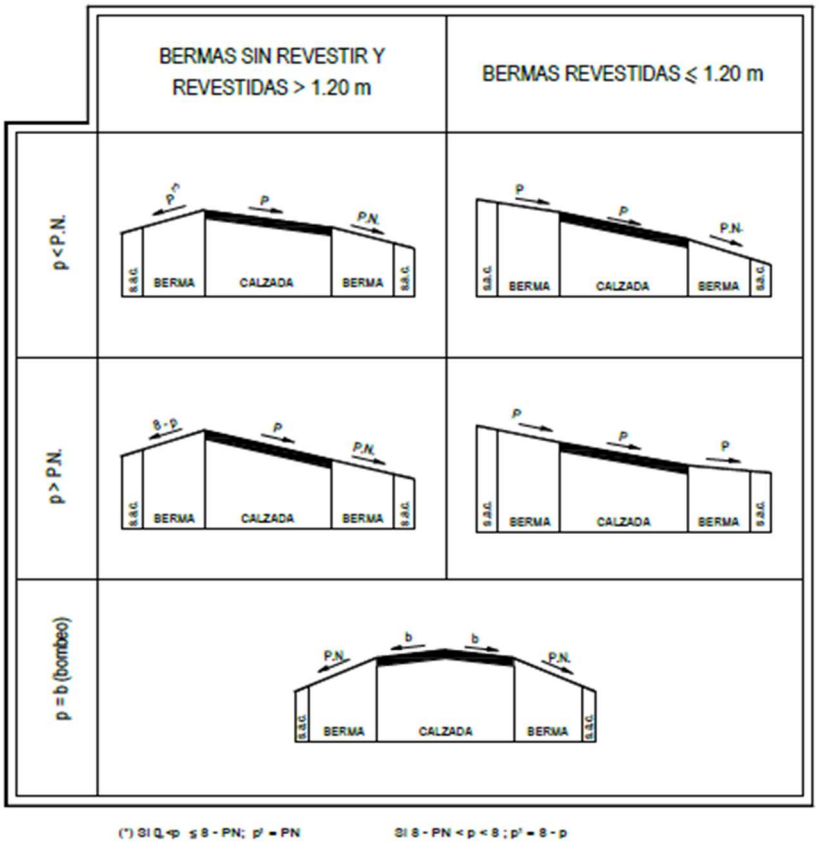
***Inclinación de bermas en carreteras de bajo tránsito***

| Situación | Inclinación de la berma |
|---|---|
| Tramos en tangente | 4% al exterior de la vía. |
| Lado inferior del peralte | Adopta la inclinación del peralte cuando este supera el 4%. En caso contrario, se aplica 4%. |
| Lado superior del peralte | Preferentemente, inclinación en contra al peralte de 4%, permitiendo el escurrimiento hacia la cuneta. |

***Nota.*** Valores de inclinación de bermas en tramos de bajo tránsito, considerando tramos en tangente y zonas con peralte para garantizar el drenaje adecuado y la protección vehicular. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

**Figura 12**

***Pendiente transversal de bermas***




***Nota.*** Se representa la inclinación transversal de las bermas para cada clase de superficie y condición de la vía para garantizar el drenaje adecuado. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

**Tabla 23**

***Pendientes transversales mínimas de las bermas***

| **Superficie de las Bermas** | **Pendiente Transversal Mínima de las Bermas** | |
|---|---|---|
| | Pendiente Normal (PN) | Pendiente Especial |
| Pavimento o Tratamiento | 4% | — |
| Grava o Afirmado | 4% – 6% (1) | 0% (2) |
| Césped | 8% | — |

***Nota.*** Pendientes mínimas recomendadas para bermas según el tipo de superficie, asegurando el adecuado drenaje lateral y estabilidad del borde de la calzada. Adaptado del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.5.1.3. Bombeo

En secciones rectas o en curvas que presentan contra peralte, las calzadas deben contar con una pendiente transversal mínima, denominada bombeo, que permite el adecuado drenaje de las aguas superficiales. Este valor se determina en base del tipo de rodadura y del régimen de ocurrencia de lluvias del lugar (MTC, 2018).

**Tabla 24**

***Valores del bombeo de la calzada***

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

***Nota.*** Bombeos recomendados según tipo de superficie y precipitación para asegurar el drenaje. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

#### 3.2.5.1.4. Peralte

Es la inclinación perpendicular aplicada en las vías curvos de la vía con el propósito de amortiguar la fuerza centrífuga que actúa sobre las unidades de transporte, mejorando su estabilidad y adherencia al pavimento. Su función principal es permitir una circulación segura en curvas, reduciendo el riesgo de deslizamiento lateral y pérdida de control, especialmente a velocidades operativas cercanas a la rapidez de trazado (MTC, 2018).

**Tabla 25**

***Radios de curvatura que no precisan sobreelevación***

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

***Nota.*** Radios mínimos que permiten prescindir del peralte según velocidad de diseño. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

- Valores del peralte máximo

**Tabla 26**

***Peralte máximo según zona de circulación***

| **Pueblo o ciudad** | **Peralte Máximo (p)** | |
|---|---|---|
| | Absoluto | Normal |
| Atravesamiento de zonas urbanas | 6.0% | 4.0% |
| Zona rural (Terreno plano, ondulado o accidentado) | 8.0% | 6.0% |
| Zona rural (Terreno accidentado o escarpado) | 12.0% | 8.0% |
| Zona rural con peligro de hielo | 8.0% | 6.0% |

***Nota.*** Valores máximos de peralte permitidos según el entorno de circulación, garantizando estabilidad vehicular en curvas. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

- Valores del peralte mínimo

**Tabla 27**

***Relación entre velocidad de diseño y radios de curvatura***

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

***Nota.*** Relación mínima entre rapidez directriz y radio de arco para garantizar seguridad y confort en la conducción. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.5.1.5. Taludes

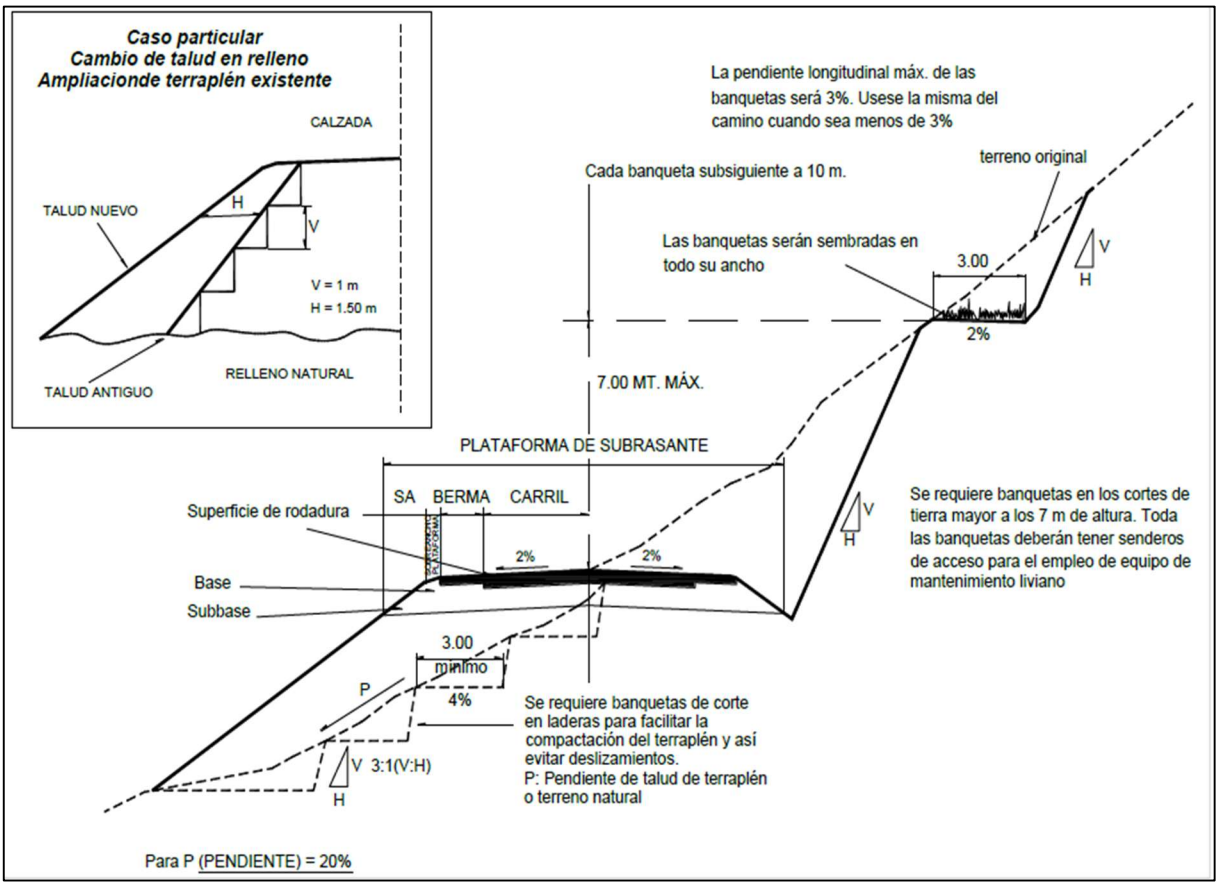
El talud corresponde a la inclinación aplicada al espacio continuo, tanto en cortes como en terraplenes, y se define mediante la relación geométrica entre la pendiente de su superficie y una línea horizontal. Su configuración busca garantizar el equilibrio del terreno y la protección frente a deslizamientos o derrumbes (MTC, 2018).

El diseño del talud está condicionado por las propiedades geomecánicas del suelo o roca, la altura del corte o terraplén, las características del drenaje en superficie y a nivel

subterráneo, así como los resultados de los estudios geotécnicos y geológicos correspondientes.

**Figura 13**

***Sección transversal típica en tangente***




***Nota.*** Representación de la sección transversal en tramos rectos, mostrando la distribución de elementos viales y pendientes para garantizar operación y drenaje adecuados. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

La Tabla 28 presenta las dimensiones estandarizadas de inclinación para taludes en corte, determinados en base de la clase de material predominante y la altura del terreno excavado.

Estos parámetros permiten asegurar el equilibrio del talud y la seguridad estructural de la vía conforme a la normativa.

**Tabla 28**

***Valores referenciales para taludes en corte (Relación H:V)***

| Altura de corte | Roca fija | Roca suelta | Grava | Limo arcilloso o arcilla | Arenas |
|---|---|---|---|---|---|
| < 5 m | 1:10 | 1:6 – 1:4 | 1:1 – 1:3 | 1:1 | 2:1 |
| 5 – 10 m | 1:10 | 1:4 – 1:2 | 1:1 | 1:1 | * |
| > 10 m | 1:8 | 1:2 | * | * | * |

***Nota.*** Relaciones recomendadas de talud en función del tipo de suelo o roca para garantizar estabilidad en cortes. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.5.1.6. Cuneta

Son conductos ubicados a lo largo de los laterales de la carretera, diseñados para evacuar os flujos de agua superficial y subsuperficiales provenientes de capa de rodadura, los taludes y áreas cercanas, con el fin de preservar la estructura de la plataforma. Su tramo puede adoptar con forma de triángulo, trapecio o rectángulo, revestida o no, abierta o cerrada, según las condiciones del proyecto y los criterios de seguridad vial. En lugares urbanos o con zonas limitadas (MTC, 2018).

**Tabla 29**

***Características de diseño de cunetas***

| Aspecto | Descripción |
|---|---|
| Criterios de dimensionamiento | Se establecen a partir de cálculos hidráulicos que consideran la pendiente longitudinal, la intensidad pluviométrica, el área de captación y las condiciones topográficas del terreno. |
| Componentes principales | Talud interior, fondo y talud exterior (este último suele coincidir con el talud de corte). |
| Pendiente longitudinal mínima (revestidas) | 0.2% |
| Pendiente longitudinal mínima (sin revestir) | 0.5% |

***Nota.*** Parámetros básicos de diseño y pendientes mínimas para cunetas según condiciones hidráulicas y superficie. Adaptado del DG-2018 (MTC, 2018).

### 3.2.6. *Seguridad Vial*

#### 3.2.6.1. Cumplimiento de visibilidad mínima

La visibilidad constituye uno de los factores más importantes en la seguridad vial, ya que permite al conductor percibir oportunamente las condiciones de la vía, obstáculos y otros usuarios. En el diseño geométrico, la visibilidad está directamente influenciada por el alineamiento horizontal y vertical, especialmente en curvas, donde puede verse limitada si no se respetan los parámetros establecidos. El Manual de Carreteras DG-2018 establece distancias mínimas de visibilidad en función de la velocidad de diseño, con el fin de garantizar maniobras seguras (MTC, 2018).

#### 3.2.6.2. Cumplimiento radio–velocidad (Estabilidad vehicular)

La estabilidad vehicular está condicionada por la relación entre el radio de curvatura, la velocidad de diseño y el peralte de la vía. Estos elementos determinan las fuerzas laterales que actúan sobre el vehículo durante su desplazamiento en curvas. Según la normativa DG-2018, existe un radio mínimo de curvatura que debe cumplirse para garantizar que el vehículo pueda mantener su trayectoria sin pérdida de control. Cuando esta relación no es adecuada, se incrementa el riesgo de deslizamiento o volcadura, afectando directamente la seguridad de la circulación (MTC, 2018).

#### 3.2.6.3. Condición del ancho de calzada (Maniobrabilidad)

El ancho de calzada es un elemento fundamental de la sección transversal de la vía, ya que influye directamente en la maniobrabilidad de los vehículos. Un ancho adecuado permite el tránsito seguro en ambos sentidos, facilita el cruce entre vehículos y reduce la probabilidad de invasión de carril. El Manual DG-2018 establece valores mínimos de ancho en función de la categoría de la vía y las condiciones del entorno. Cuando el ancho disponible es inferior al requerido, se generan dificultades en la operación vehicular, incrementando el riesgo

de accidentes, especialmente en tramos de alta demanda o geometría restringida (MTC, 2018).

#### 3.2.6.4. Presencia de sobreancho

El sobreancho es un incremento adicional del ancho de calzada en tramos curvos, diseñado para compensar el desplazamiento lateral de los vehículos durante el giro. Este elemento es particularmente importante en curvas de radio reducido, donde las ruedas traseras tienden a seguir una trayectoria diferente a las delanteras. La normativa DG-2018 establece valores de sobreancho en función del radio de curvatura y el tipo de vehículo de diseño, con el objetivo de mejorar la maniobrabilidad y evitar conflictos entre vehículos. La ausencia de sobreancho en estos tramos puede generar invasión de carril y aumentar el riesgo de colisiones (MTC, 2018).

### 3.2.7. *Relaciones entre diseño geométrico y la seguridad vial*

#### 3.2.7.1. Relación entre el alineamiento horizontal y la estabilidad vehicular

El alineamiento horizontal influye directamente en la estabilidad vehicular, ya que determina la trayectoria que debe seguir el vehículo durante su desplazamiento. Elementos como el radio de curvatura, la longitud de las tangentes y las transiciones entre curvas condicionan las fuerzas laterales que actúan sobre el vehículo. Cuando estos parámetros no cumplen con los valores establecidos en la normativa, se incrementa el riesgo de pérdida de control, especialmente a velocidades de operación elevadas. En este sentido, un diseño adecuado del alineamiento horizontal contribuye a mantener la estabilidad del vehículo y a reducir la probabilidad de accidentes (MTC, 2018).

#### 3.2.7.2. Relación entre el alineamiento vertical y la visibilidad

El alineamiento vertical tiene una influencia significativa en la visibilidad disponible para el conductor, especialmente en curvas convexas y cóncavas. Estas configuraciones pueden limitar el campo visual, afectando la capacidad de anticipación ante obstáculos o cambios en

la vía. La normativa DG-2018 establece criterios para garantizar distancias mínimas de visibilidad en función de la velocidad de diseño, con el fin de asegurar condiciones seguras de circulación. Un diseño inadecuado del alineamiento vertical puede reducir el tiempo de reacción del conductor y aumentar el riesgo de accidentes (MTC, 2018).

#### 3.2.7.3. Relación entre el radio de curvatura y la estabilidad vehicular

El radio de curvatura es un parámetro fundamental que influye en la estabilidad del vehículo durante su desplazamiento en curvas. Radios reducidos generan mayores fuerzas centrífugas, lo que exige un mayor control por parte del conductor y puede provocar deslizamientos o pérdida de adherencia si no se cuenta con un peralte adecuado. La normativa DG-2018 establece radios mínimos en función de la velocidad de diseño, con el objetivo de garantizar una circulación segura. El incumplimiento de estos valores incrementa significativamente el riesgo de accidentes (MTC, 2018).

#### 3.2.7.4. Relación entre el ancho de calzada y la maniobrabilidad

El ancho de calzada es un elemento clave en la maniobrabilidad de los vehículos, ya que determina el espacio disponible para la circulación y el cruce en vías de doble sentido. Un ancho insuficiente limita la capacidad de maniobra, incrementa la probabilidad de invasión de carril y dificulta el tránsito de vehículos pesados. De acuerdo con la normativa DG-2018, el ancho de calzada debe cumplir valores mínimos que garanticen condiciones adecuadas de operación. Su incumplimiento afecta directamente la seguridad vial, especialmente en tramos con geometría restringida (MTC, 2018).

#### 3.2.7.5. Relación entre el sobreancho y la seguridad en curvas

El sobreancho es un elemento del diseño geométrico que permite compensar el desplazamiento lateral de los vehículos en tramos curvos. Su ausencia en curvas de radio reducido puede generar dificultades en la trayectoria, especialmente para vehículos de mayor longitud, incrementando el riesgo de invasión de carril y colisiones. La normativa DG-2018

establece valores de sobreancho en función del radio de curvatura, con el fin de mejorar la seguridad y la comodidad en la circulación. Por lo tanto, la presencia o ausencia de este elemento influye directamente en la seguridad vial (MTC, 2018).

#### 3.2.7.6. Relación entre el peralte y la estabilidad vehicular

El peralte es la inclinación transversal de la calzada diseñada para contrarrestar las fuerzas centrífugas que actúan sobre el vehículo en curvas. Un peralte adecuado permite mejorar la adherencia de las llantas y mantener la estabilidad del vehículo durante la circulación. Cuando este elemento no cumple con los valores establecidos en la normativa, se incrementa el riesgo de deslizamiento lateral, especialmente en condiciones de lluvia o alta velocidad. En este sentido, el peralte es un factor determinante en la seguridad vial (MTC, 2018).

## 3.3. Definición de términos

**3.3.1.** Diseño geométrico: Se trata del conjunto de limites técnicos que determinan la forma, dimensiones y características físicas del trazado vial, considerando la seguridad, comodidad y economía del tránsito vehicular. Incluye el estudio del alineamiento horizontal, el perfil vertical y la sección transversal, los cuales tienen que ajustarse a las dimensiones topográficas y funcionales del entorno (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018).

**3.3.2.** Tramo: El término tramo hace referencia a una sección específica de una vía o carretera delimitada por progresivas inicial y final, utilizada como unidad de análisis o de diseño dentro de un proyecto vial. Cada tramo presenta condiciones particulares de terreno, tránsito y geometría, por lo que su estudio independiente permite evaluar con precisión las características funcionales y de seguridad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018).

**3.3.3.** Radios de curvatura: en el diseño geométrico de carreteras, corresponden al parámetro que define la amplitud de las curvas en el alineamiento horizontal, influyendo directamente en la velocidad de operación, la estabilidad del vehículo y las condiciones de seguridad y confort durante la circulación (AASHTO, 2018).

**3.3.4.** Tangentes en una carretera: corresponden a los tramos rectos del alineamiento horizontal que conectan curvas consecutivas o secciones de la vía, permitiendo una circulación uniforme y facilitando la transición entre cambios de dirección, influyendo en la comodidad y seguridad del usuario (AASHTO, 2018).

**3.3.5.** Longitud de curva: corresponde a la distancia medida a lo largo del arco de una curva en el alineamiento horizontal, la cual permite una transición adecuada entre tangentes

y está directamente relacionada con la seguridad, comodidad y estabilidad del tránsito vehicular (AASHTO, 2018).

**3.3.6.** Sobreancho: es el incremento adicional del ancho de la calzada en tramos curvos del alineamiento horizontal, diseñado para compensar el desplazamiento lateral de los vehículos y facilitar maniobras seguras durante el giro, mejorando la comodidad y seguridad vial (AASHTO, 2018).

**3.3.7.** Curvas verticales (Curvas Convexas y Cóncavas): Son aquellas que se dan en el perfil longitudinal, ajustando la pendiente para cambiar de dirección en una curva convexa o cóncava. Estas curvas son necesarias para suavizar el paso entre tramos con pendientes opuestas, mejorando la seguridad del tránsito (Meyer & Langen, 2011).

**3.3.8.** Pendientes longitudinales (Ascendentes y Descendentes): Las pendientes longitudinales, tanto ascendentes como descendentes, son las inclinaciones de la carretera a lo largo de su trayectoria. Las pendientes ascendentes permiten ascender colinas, mientras que las descendentes facilitan el descenso. Un diseño adecuado de estas pendientes es crucial para la seguridad de los vehículos, especialmente en términos de control de velocidad (Katz & Turner, 2004).

**3.3.9.** Ancho de calzada: Se refiere a la medida de la capa de rodadura de la vía, que debe ser suficiente para permitir el paso seguro de los vehículos. El ancho adecuado está en base al tipo de vía y el volumen de tráfico, y juega un papel clave en la seguridad vial (AASHTO, 2018).

**3.3.10.** Berma (ancho y pendiente): La berma se refiere a la franja lateral de la carretera, generalmente fuera de la calzada, que se utiliza para diversos fines, incluidos la seguridad y el acceso. El ancho y la pendiente de la berma son importantes para tratar

que los vehículos no se deslicen fuera de la plataforma y para permitir el drenaje adecuado (Hansen, 2016).

**3.3.11.** Peralte (sobreelevación en curvas): Es la inclinación lateral de la vía en los tramos curvos, diseñada para compensar la acción de la fuerza centrífuga ejercida sobre los vehículos. Un peralte adecuado ayuda a mejorar la seguridad y la comodidad del conductor en las curvas (American Society of Civil Engineers, 2009).

**3.3.12.** Cumplimiento de visibilidad mínima: Se refiere a la verificación de que las condiciones geométricas de la vía permiten garantizar la distancia de visibilidad necesaria para una conducción segura. Este indicador evalúa si el conductor dispone del campo visual suficiente para percibir oportunamente obstáculos, cambios en el trazado o la presencia de otros vehículos, conforme a los parámetros establecidos en la normativa vigente (MTC, 2018).

**3.3.13.** Cumplimiento radio–velocidad: Este indicador evalúa la relación entre el radio de curvatura de la vía y la velocidad de diseño, determinando si las condiciones geométricas permiten mantener la estabilidad del vehículo durante la circulación. Un adecuado equilibrio entre estos factores reduce la influencia de fuerzas laterales y contribuye a evitar la pérdida de control (MTC, 2018).

**3.3.14.** Condición del ancho de calzada (Maniobrabilidad): Se refiere a la evaluación del ancho disponible para la circulación vehicular en función de los requerimientos mínimos establecidos por la normativa. Este indicador permite determinar si la sección transversal de la vía facilita maniobras seguras, especialmente en tramos de doble sentido, evitando conflictos entre vehículos y reduciendo el riesgo de accidentes (MTC, 2018).

**3.3.15.** Curvas de intersección: Las curvas de intersección son aquellas que se forman en los puntos donde dos vías se cruzan. El diseño de estas curvas debe asegurar que los vehículos puedan realizar el giro con seguridad y eficiencia, ajustándose a las velocidades de diseño y la visibilidad del cruce (Sullivan, 2012).

**3.3.16.** Radios de curvatura: Es la medida que define el grado de curvatura de una carretera. Un radio adecuado es fundamental para garantizar la seguridad en las curvas, ya que influye directamente en la velocidad máxima permitida y en la comodidad de los conductores (AASHTO, 2018).

**3.3.17.** Zonas de amortiguamiento: Las zonas de amortiguamiento son áreas de transición entre la carretera y el entorno que sirven para reducir la velocidad y la energía de los vehículos en caso de accidente. Estas zonas están diseñadas para mejorar la seguridad de los usuarios y protegerlos de impactos (Hansen, 2016).

**3.3.18.** Alineación vertical: La alineación vertical se refiere a la disposición de las inclinaciones del perfil longitudinal de la vía. Una alineación adecuada permite una circulación segura, especialmente en pendientes pronunciadas o zonas montañosas (Meyer & Langen, 2011).

**3.3.19.** Rampa de acceso: La rampa de acceso es una estructura diseñada para permitir la incorporación o salida de vehículos a la carretera principal. Su diseño debe asegurar que el ángulo de inclinación no sea excesivo y que se facilite un ingreso o egreso seguro (Katz & Turner, 2004).

**3.3.20.** Ancho de la calzada según el tipo de vía: El ancho de la calzada debe ajustarse al tipo de carretera (rural, urbana, autopista) y al volumen de tráfico. Un diseño adecuado asegura que los vehículos puedan transitar sin riesgo de colisiones laterales (AASHTO, 2018).

**3.3.21.** Perfiles transversales: Los perfiles transversales son las secciones perpendiculares a la dirección de la carretera que muestran el diseño del terreno y la calzada. Estos perfiles son esenciales para garantizar el drenaje y la estabilidad de la vía (Gillespie, 2013).

**3.3.22.** Elementos de protección vial: Los elementos de protección vial incluyen sistemas de protección lateral, estructuras de retención de tierras y dispositivos de absorción de impacto. Están diseñados para proteger a los usuarios de accidentes graves, especialmente en áreas de alto riesgo (Fitzpatrick et al., 2010).

**3.3.23.** Estudio de tráfico: Es el comportamiento de las unidades vehiculares y los peatones en un tramo de carretera, y se utiliza para determinar el diseño más adecuado en función del volumen de tránsito y las características de los usuarios (Huang & Abdel-Aty, 2009).

# IV. Metodología

## 4.1. Tipo y nivel de investigación

### 4.1.1. *Tipo de investigación*

Hernández et al. (2014). La presente investigación es de tipo aplicada, debido a que analiza las condiciones geométricas del tramo vial Achocca – Antilla y su relación con la seguridad vial, con el propósito de generar resultados que permitan identificar deficiencias y plantear alternativas de mejora aplicables al tramo estudiado.

### 4.1.2. *Nivel de investigación*

Hernández et al. (2014). La presente investigación corresponde a un estudio de nivel descriptivo–correlacional, ya que permite describir las características del diseño geométrico y analizar su relación con la seguridad vial. En ese sentido, se busca evaluar cómo las condiciones del diseño geométrico se asocian con la seguridad vial en un tramo específico, permitiendo comprender el comportamiento de ambas variables sin establecer relaciones de causalidad directa.

### 4.1.3. *Diseño de investigación*

El enfoque de la presente investigación es de tipo cuantitativo, de carácter objetivo y sistemático, debido a que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para describir y establecer la relación entre las variables de estudio. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el enfoque cuantitativo se fundamenta en la medición de variables mediante procedimientos estadísticos, permitiendo la comprobación de hipótesis y el análisis de patrones de comportamiento en los fenómenos estudiados.

En ese sentido, la investigación se desarrolla en el tramo vial EMP. AP-108 (Achocca) – Antilla, donde se recopilan y analizan datos relacionados con los parámetros del diseño geométrico y las condiciones de seguridad vial, utilizando instrumentos de medición estandarizados. Asimismo, el estudio se orienta a obtener resultados objetivos y verificables,

permitiendo evaluar el estado actual de la vía conforme a los criterios establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

## 4.2. Ámbito temporal y espacial

### 4.2.1. *Temporal*

La tesis se desarrolló en el año 2025 desde la aprobación del proyecto de tesis, ya que se tiene como objetivo evaluar el diseño geométrico actual. Esto incluye el análisis de las condiciones actuales y las proyecciones de mejora a corto plazo.

### 4.2.2. *Espacial*

La tesis se centró en el tramo EMP. AP - 108 (Achocca) - Antilla (KM 09+360), ubicado en el distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, en la región de Apurímac, Perú.

**Figura 14**

***Ubicación del tramo: EMP. AP - 108 (Achocca) - Antilla***




***Nota.*** Ubicación del tramo en estudio obtenida, adaptada de Google Earth (2025).

## 4.3. Población y muestra

### 4.3.1. *Población:*

Huaire et al. (2022) determinaron que una población de estudio constituye un conjunto finito o infinito de elementos que comparten características comunes, y que permite obtener resultados amplios en la investigación, estando claramente delimitada por el problema y el objetivo de la misma. En la presente tesis, la población está constituida por el tramo EMP. AP - 108 (Achocca) - Antilla, ubicado en el kilómetro 09+360, en el distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, Apurímac. Este tramo de vía, con una extensión aproximada de 265 metros lineales, es la unidad de análisis para evaluar el impacto de la influencia del diseño geométrico en la seguridad vial.

### 4.3.2. *Muestra:*

Perez et al. (2020) mencionaron que la muestra es una fracción estadísticamente representativa de la población, que conserva las propiedades esenciales y es una reproducción fiel de esta, permitiendo que los resultados obtenidos puedan ser generalizados a todos los componentes de la población. Para esta tesis, el conjunto muestral está integrado por el tramo más crítico de la ruta EMP. AP - 108 (Achocca) - Antilla, específicamente entre los kilómetros 00+000 hasta 04+600, lo que representa una longitud de 4600 metros lineales del total de la vía.

## 4.4. Instrumentos

Los instrumentos constituyen herramientas de naturaleza tanto conceptual como material, utilizados para recopilar información significativa a través de preguntas que demandan respuestas del tesista. Estos instrumentos adoptan diferentes métodos según las técnicas que les sirven de partida para el análisis (Ñaupas et al., 2018). En esta tesis, los instrumentos empleados para recopilar los datos fueron los siguientes:

- Levantamiento topográfico con GPS: Se empleo un GPS portátil para registrar coordenadas y puntos clave del trazado vial. Aunque este equipo tiene una precisión limitada en comparación con sistemas GPS diferenciales, su uso es viable para levantamientos preliminares, complementándose con mediciones auxiliares y observaciones en campo para mejorar la exactitud (Rodríguez & Pérez, 2021).

- Inspección visual directa: Se realizó un recorrido minucioso para evaluar el estado del tramo y señalización, registrando condiciones que afecten la seguridad vial (Sánchez & Vargas, 2018).

- Recolección de datos de siniestralidad: Se recopilo estadísticas oficiales de accidentes de las autoridades competentes del lugar para asegurar un índice de accidentabilidad.

- Encuestas y entrevistas: Se aplicaron instrumentos estructurados para obtener percepciones de usuarios y autoridades locales sobre la seguridad vial (Garrido Murillo & Montoya Correa, 2020).

### 4.5. Procedimientos

El proceso de trazado geométrico de vías es un procedimiento técnico y sistemático que implica la recopilación de datos de diversas fuentes, el uso de herramientas tecnológicas especializadas y la aplicación de normas de ingeniería vial para garantizar un diseño funcional, seguro y eficiente. Es por ello se describen las principales fases desarrolladas en la presente investigación:

- ✓ Revisión de Fuentes Teóricas: La primera etapa comprendió la revisión de literatura técnica y normativa, incluyendo manuales, estudios previos y artículos de investigación especializados, como el DG-2018. Esta revisión permitió consolidar el marco teórico y conceptual del estudio, asegurando que el proceso de diseño se ajuste a los estándares técnicos nacionales y a las mejores prácticas de la ingeniería vial.

- ✓ Levantamiento de Datos en el Terreno: En esta fase se efectuó un levantamiento topográfico detallado del tramo en estudio, que abarca sus componentes en planta, perfil y sección transversal. Se emplearon instrumentos de alta precisión, tales como estaciones totales y receptores GPS, para registrar las características físicas del terreno. Este levantamiento permitió identificar la morfología del área y servir de base para la modelación digital y posterior evaluación del diseño geométrico.
- ✓ Estudio del Tráfico Vehicular: Posteriormente, se hará un estudio de flujo vehicular mediante aforos, con el fin de determinar el Índice Medio Diario Anual (IMDA) y otros parámetros operacionales relevantes. Estos datos proporcionaron información sobre el volumen, tipo y rapidez de los vehículos que circula por el tramo, lo que resultó esencial para estimar el requerimiento de tránsito vehicular y definir la rapidez de diseño conforme a la norma técnica.
- ✓ Procesamiento de Datos con Software Especializado: Una vez obtenida la información topográfica y de tráfico, se procesaron los datos empleando el software Autodesk Civil 3D-2023, que permitió generar el modelo digital del terreno (MDT) y determinar los parámetros geométricos del trazado vial, como los radios de curvatura, pendientes, longitudes de tangente y secciones transversales. Esta herramienta también facilitó la elaboración de planos, perfiles y diagramas que sirvieron de apoyo para el análisis técnico del diseño.
- ✓ Análisis y Evaluación del Diseño Geométrico: En esta etapa se evaluaron los principales componentes del diseño geométrico: trazados horizontales y verticales, peraltes, anchos de calzada y rangos de visión. La evaluación se desarrolló mediante un análisis normativo comparativo, contrastando los valores obtenidos en el modelo y en campo con los criterios de referencia determinados por DG-2018 (MTC, 2018). Con base en esta comparación se determinaron los niveles de cumplimiento de cada

parámetro, clasificándolos como adecuados, regulares o deficientes, según su correspondencia con los valores mínimos o recomendados por la norma.

### 4.6. Análisis de datos

La gestión y análisis a partir de los datos recolectados en campo se realizó aplicando el método normativo comparativo, el cual consiste en contrastar los valores reales medidos del tramo vial con los criterios técnicos determinados por la norma nacional actual, particularmente el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018). Este método permite determinar el grado de cumplimiento de los elementos del trazado geométrico y su incidencia en la seguridad del tránsito en la vía objeto de estudio.

Para el análisis, los datos recopilados durante la inspección técnica del tramo EMP. AP-108 (Achocca – Antilla) como radios de curva, pendientes longitudinales, anchos de calzada, bermas y peraltes fueron organizados en tablas comparativas. En ellas se establecieron tres categorías de cumplimiento: adecuado, cuando los valores observados se encontraban dentro de los rangos normativos; regular, cuando se aproximaban al límite permisible; y deficiente, cuando no cumplían de acuerdo con los valores mínimos fijados en la normativa vigente. Este procedimiento permitió identificar los puntos críticos del diseño geométrico que podrían representar riesgos para los conductores y la operación vial.

El tratamiento de la información se efectuó mediante el uso de hojas de cálculo de Microsoft Excel, donde se calcularon porcentajes de cumplimiento y se elaboraron gráficos ilustrativos. Estas herramientas facilitaron la interpretación de los resultados de manera cuantitativa y visual, permitiendo relacionar directamente los niveles de adecuación geométrica con los posibles factores de inseguridad vial detectados. Asimismo, el método normativo comparativo se fundamenta en la revisión técnica de la infraestructura vial frente a los parámetros de trazado geométrico vigentes en Perú. De acuerdo con el MTC (2018), el diseño

de una carretera debe garantizar una circulación segura y eficiente, considerando el terreno, la velocidad de proyecto, la visibilidad, las condiciones de operación y los factores ambientales. Por tanto, la comparación entre los datos reales y los valores de referencia normativos constituye una técnica válida para evaluar la funcionalidad y seguridad del trazado vial, especialmente en zonas rurales o con topografía accidentada, como la provincia de Antabamba.

Finalmente, los resultados derivados de este análisis fueron interpretados con base en su correspondencia con los estándares técnicos y de seguridad vial. Esta metodología permitió establecer de manera objetiva las deficiencias geométricas existentes en el tramo y plantear recomendaciones de mejora orientadas a optimizar las condiciones de circulación y reducir el riesgo de accidentes.

### 4.7. Consideraciones éticas

En la presente tesis sobre la evaluación del diseño geométrico y su relación con la seguridad vial en el tramo EMP. AP - 108 (Achocca) – Antilla, se observaron principios éticos fundamentales que garanticen el respeto a los participantes y la integridad del trabajo académico. En primer lugar, se aseguró el consentimiento informado de todos los actores involucrados, tales como autoridades locales, conductores y especialistas, procurando que comprendan los fines y procedimientos del estudio (Beauchamp & Childress, 2019). Asimismo, se protegerá la confidencialidad de la información obtenida, resguardando los datos de manera segura y evitando cualquier divulgación que permita identificar a los participantes.

Del mismo modo, se garantizará la transparencia y veracidad en la presentación de los resultados, evitando toda forma de manipulación o alteración de los datos y reconociendo las posibles limitaciones del estudio (Resnik, 2011). Finalmente, se considerará el impacto social y ambiental que pueda derivarse del trabajo realizado, priorizando siempre el bienestar colectivo y el respeto hacia el entorno natural.

# V. Resultados y discusión

## 5.1. Resultados

Los resultados del presente estudio se presentan en correspondencia con los objetivos específicos planteados, los cuales se orientan a evaluar la seguridad vial en función de las características del diseño geométrico del tramo EMP. AP-108 (Achocca – Antilla). En ese sentido, se analizó la seguridad vial considerando de manera integral los elementos del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, contrastándolos con los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018 del MTC, con el propósito de identificar deficiencias que puedan comprometer las condiciones de circulación y aumentar el nivel de riesgo para los usuarios.

Este análisis se desarrolló conforme a la operacionalización de variables, donde el diseño geométrico fue evaluado a partir de indicadores como radios de curvatura, tangentes, longitud de curva y sobreancho en el alineamiento horizontal; pendientes longitudinales y características del perfil en el alineamiento vertical; así como el ancho de calzada, presencia de bermas y condiciones de peralte en la sección transversal.

El tramo evaluado corresponde a una vía no pavimentada (trocha carrozable) ubicada en una topografía accidentada (Tipo III), lo cual influye en la seguridad vial por limitaciones en radios de curvatura, pendientes elevadas y reducida visibilidad. Asimismo, se evidenció el incumplimiento de parámetros geométricos y la ausencia de bermas, junto con deficiencias en el ancho de calzada y la imposibilidad de verificar el peralte por el deterioro de la vía, lo que incrementa la vulnerabilidad del tramo.

Por otro lado, el análisis se desarrolló considerando las condiciones de carreteras de tercera categoría con bajo volumen de tránsito (IMDA < 400 veh/día), lo cual permitió establecer la relación entre las características geométricas de la vía y su incidencia en la seguridad vial, en términos de visibilidad, estabilidad vehicular y maniobrabilidad. En

consecuencia, los resultados evidencian que las deficiencias en los parámetros geométricos incrementan el riesgo de accidentes y limitan la eficiencia operativa de la vía, dando respuesta al objetivo general de la investigación.

### 5.1.1. *Resultados del diseño geométrico en planta (alineamiento horizontal)*

El alineamiento horizontal se analizó mediante la determinación de radios de curva, longitudes de tangente, sobreanchos y transiciones, contrastándolos siguiendo los valores mínimos estipulados por el Manual DG-2018.

#### 5.1.1.1. Evaluación de radio en el tramo

El análisis de los radios de las curvas horizontales del tramo Achocca – Antilla se efectuó mediante la comparación directa entre los valores calculados en campo y los radios mínimos establecidos por el DG-2018.

Este procedimiento permitió identificar el nivel de adecuación de la configuración geométrica del trazado horizontal frente a los estándares normativos vigentes en el país. El radio de curva constituye un parámetro fundamental para la seguridad vial, ya que determina la estabilidad del vehículo a la circular y la visibilidad necesaria para realizar maniobras seguras.

Radios inferiores a los mínimos recomendados pueden generar mayores fuerzas laterales, lo que incrementa el riesgo de deslizamiento o pérdida de control, especialmente bajo condiciones de lluvia o presencia de material suelto en la calzada.

A continuación, se detallan en la tabla los resultados obtenidos del levantamiento de datos de campo, mostrando los radios calculados, las longitudes de curva y su comparación con el radio mínimo normativo, a fin de evaluar su cumplimiento técnico y su incidencia en la seguridad vial del tramo estudiado.

**Tabla 30**

***Evaluación de radios y longitudes de curvas horizontales en el tramo Achocca – Antilla.***

| Número curva | Progresiva inicial | Progresiva final | Radio | Angulo | Lc | Rmin (m) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 0+395.21 | 0+415.02 | 7.89 | 144° | 19.81 | 25 | No satisface |
| C-2 | 0+842.52 | 0+856.41 | 5.18 | 154° | 13.89 | 25 | No satisface |
| C-3 | 1+192.14 | 1+212.74 | 7.26 | 162° | 20.6 | 25 | No satisface |
| C-4 | 1+536.01 | 1+548.72 | 4.59 | 158° | 12.71 | 25 | No satisface |
| C-5 | 1+548.72 | 1+562.34 | 21.51 | 36° | 13.62 | 25 | No satisface |
| C-6 | 1+968.5 | 1+996.19 | 24.37 | 65° | 27.69 | 25 | No satisface |
| C-7 | 2+104.23 | 2+126.34 | 10.27 | 123° | 22.11 | 25 | No satisface |
| C-8 | 2+211.42 | 2+245.19 | 36.29 | 53° | 33.77 | 25 | Satisface |
| C-9 | 2+530.32 | 2+562.53 | 14.68 | 126° | 32.21 | 25 | No satisface |
| C-10 | 2+904.12 | 2+918.85 | 6.21 | 136° | 14.73 | 25 | No satisface |
| C-11 | 3+149.21 | 3+167.67 | 10.27 | 103° | 18.46 | 25 | No satisface |
| C-12 | 3+167.67 | 3+184.09 | 13.26 | 71° | 16.42 | 25 | No satisface |
| C-13 | 3+535.08 | 3+563.22 | 11.39 | 142° | 28.14 | 25 | No satisface |
| C-14 | 3+624.14 | 3+657.88 | 39.59 | 49° | 33.74 | 25 | Satisface |
| C-15 | 3+709.54 | 3+746.39 | 48.64 | 43° | 36.85 | 25 | Satisface |
| C-16 | 3+750.27 | 3+774.96 | 18.16 | 78° | 24.69 | 25 | No satisface |
| C-17 | 3+805.14 | 3+838.58 | 11.32 | 169° | 33.44 | 25 | No satisface |
| C-18 | 3+851.20 | 3+879.43 | 30.71 | 53° | 28.23 | 25 | Satisface |
| C-19 | 3+941.08 | 3+962.14 | 18.04 | 67° | 21.06 | 25 | No satisface |
| C-20 | 3+967.11 | 3+992.94 | 15.97 | 93° | 25.83 | 25 | No satisface |
| C-21 | 4+162.04 | 4+191.82 | 18.97 | 90° | 29.78 | 25 | No satisface |
| C-22 | 4+249.52 | 4+295.21 | 14.41 | 182° | 45.69 | 25 | No satisface |
| C-23 | 4+358.01 | 4+394.55 | 31.05 | 67° | 36.54 | 25 | Satisface |
| C-24 | 4+410.21 | 4+439.31 | 10.37 | 160° | 29.1 | 25 | No satisface |
| C-25 | 4+451.03 | 4+481.13 | 16.97 | 102° | 30.1 | 25 | No satisface |

**Nota.** Se muestran los radios y longitudes de las curvas horizontales del tramo, verificando su cumplimiento respecto al radio mínimo exigido por la norma DG-2018.

El porcentaje global de cumplimiento del alineamiento horizontal fue de 37,5 %. Las principales deficiencias se relacionan con la presencia de radios menores al valor mínimo exigido por la norma y con la ausencia de sobreanchos adecuados en varias curvas. Estas condiciones reducen la estabilidad lateral de los vehículos y limitan la visibilidad en el trazado, especialmente en sectores con material suelto o durante condiciones de lluvia, incrementando el riesgo potencial de siniestros viales.

#### 5.1.1.2. Evaluación de tangentes en el tramo.

El análisis de las tangentes correspondientes al alineamiento horizontal se llevó a cabo mediante la comparación entre las longitudes obtenidas en campo y los valores mínimos establecidos en la normativa DG-2018. Este procedimiento permitió evaluar el grado de adecuación geométrica de los tramos rectos que conectan elementos curvos, los cuales cumplen un rol determinante en la continuidad del trazado y en las condiciones de seguridad vial. Cuando las longitudes de tangente son inferiores a los valores mínimos recomendados por la normativa, se incrementa el riesgo de maniobras inadecuadas, tales como cambios bruscos de dirección o insuficiente tiempo de reacción. Esta situación puede derivar en pérdida de estabilidad del vehículo, reducción de la visibilidad disponible y aumento de la probabilidad de accidentes, especialmente en vías con características topográficas complejas o bajo condiciones climáticas desfavorables.

En este contexto, la evaluación comparativa realizada permite identificar los sectores donde no se cumple con los criterios normativos, evidenciando posibles deficiencias en el diseño geométrico que podrían incidir negativamente en la seguridad vial del tramo en estudio.

A continuación, se presenta la tabla resumen del análisis efectuado para cada curva del tramo Achocca – Antilla, en la cual se detallan las longitudes de tangente obtenidas, los valores mínimos exigidos por la normativa vigente y el correspondiente nivel de cumplimiento.

**Tabla 31**

***Evaluación de tangentes calculadas y mínimas en el tramo Achocca – Antilla***

| Curva | Radio | Tang. | Pc | Pi | Pt | Tipo s, o | L min (m) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 144 | 24.28 | 0+395.21 | 0+405.12 | 0+415.02 | S | 42 | No satisface |
| C-2 | 154 | 22.44 | 0+842.52 | 0+849.47 | 0+856.41 | S | 42 | No satisface |
| C-3 | 162 | 45.84 | 1+192.14 | 1+202.44 | 1+212.74 | S | 42 | Satisface |
| C-4 | 158 | 23.61 | 1+536.01 | 1+542.37 | 1+548.72 | S | 42 | No satisface |
| C-5 | 36 | 6.99 | 1+548.72 | 1+555.53 | 1+562.34 | S | 42 | No satisface |
| C-6 | 65 | 15.53 | 1+968.5 | 1+982.35 | 1+996.19 | S | 42 | No satisface |
| C-7 | 123 | 18.91 | 2+104.23 | 2+115.29 | 2+126.34 | S | 42 | No satisface |
| C-8 | 53 | 18.09 | 2+211.42 | 2+228.31 | 2+245.19 | S | 42 | No satisface |
| C-9 | 126 | 28.81 | 2+530.32 | 2+546.43 | 2+562.53 | S | 42 | No satisface |
| C-10 | 136 | 15.37 | 2+904.12 | 2+911.49 | 2+918.85 | S | 42 | No satisface |
| C-11 | 103 | 12.91 | 3+149.21 | 3+158.44 | 3+167.67 | S | 42 | No satisface |
| C-12 | 71 | 9.46 | 3+167.67 | 3+175.88 | 3+184.09 | S | 42 | No satisface |
| C-13 | 142 | 33.08 | 3+535.08 | 3+549.15 | 3+563.22 | S | 42 | No satisface |
| C-14 | 49 | 18.04 | 3+624.14 | 3+641.01 | 3+657.88 | S | 42 | No satisface |
| C-15 | 43 | 19.16 | 3+709.54 | 3+727.97 | 3+746.39 | S | 42 | No satisface |
| C-16 | 78 | 14.71 | 3+750.27 | 3+762.62 | 3+774.96 | S | 42 | No satisface |
| C-17 | 169 | 117.56 | 3+805.14 | 3+821.86 | 3+838.58 | S | 42 | Satisface |
| C-18 | 53 | 15.31 | 3+851.20 | 3+865.32 | 3+879.43 | S | 42 | No satisface |
| C-19 | 67 | 11.94 | 3+941.08 | 3+951.61 | 3+962.14 | S | 42 | No satisface |
| C-20 | 93 | 16.83 | 3+967.11 | 3+980.03 | 3+992.94 | S | 42 | No satisface |
| C-21 | 90 | 18.97 | 4+162.04 | 4+176.93 | 4+191.82 | S | 42 | No satisface |
| C-22 | 182 | -825.55 | 4+249.52 | 4+272.37 | 4+295.21 | S | 42 | No satisface |
| C-23 | 67 | 20.55 | 4+358.01 | 4+376.28 | 4+394.55 | S | 42 | No satisface |
| C-24 | 160 | 58.81 | 4+410.21 | 4+424.76 | 4+439.31 | S | 42 | Satisface |
| C-25 | 102 | 20.96 | 4+451.03 | 4+466.08 | 4+481.13 | S | 42 | No satisface |

**Nota.** Se presentan las tangentes calculadas y las longitudes mínimas requeridas para cada curva del tramo, verificando su cumplimiento según la norma DG-2018.

El porcentaje global de cumplimiento de las tangentes horizontales fue de 12 %, mientras que el 88 % de las curvas no alcanzaron la longitud mínima exigida por la norma. Las deficiencias más notorias corresponden a tangentes excesivamente cortas que reducen la transición entre curvas y limitan la maniobrabilidad del conductor. Esta condición compromete la estabilidad del vehículo al ingreso o salida de una curva y disminuye la distancia de visibilidad, especialmente en tramos con pendiente pronunciada o en condiciones climáticas adversas, incrementando el riesgo de pérdida de control y accidentes.

#### 5.1.1.3. Evaluación de longitud de curva

La evaluación de las longitudes de los arcos horizontales se realizó a partir de la comparación entre los valores determinados en campo y las longitudes mínimas requeridas por la normativa DG-2018. Este análisis tuvo como finalidad comprobar si las curvas existentes en el tramo Achocca – Antilla cuentan con un desarrollo geométrico adecuado que permita garantizar condiciones seguras y confortables para la circulación vehicular. Cuando las longitudes de los arcos son inferiores a los valores mínimos establecidos por la normativa, se generan transiciones más exigentes para el conductor, lo que puede traducirse en incrementos de las fuerzas laterales actuantes sobre el vehículo, reducción de la visibilidad disponible y mayores dificultades para mantener una trayectoria segura. Estas condiciones incrementan la probabilidad de ocurrencia de incidentes, particularmente en carreteras rurales o en tramos con topografía irregular, donde las condiciones de operación ya son de por sí más críticas.

En este contexto, la comparación efectuada permite identificar las curvas que no cumplen con los criterios normativos, evidenciando posibles deficiencias en el diseño geométrico que podrían afectar la seguridad vial del tramo en estudio; se presenta la tabla correspondiente, en la cual se consignan las progresivas, radios, ángulos de deflexión y longitudes de curva obtenidas en campo, así como su respectiva comparación con los valores mínimos exigidos por la normativa vigente.

**Tabla 32**

***Evaluación de longitudes de curvas***

| Curva | Progresiva inicial | Progresiva final | Delta (δ) | Radio | L | Longitud de curva según dg-2018 | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 0+395.21 | 0+415.02 | 144° | 7.89 | 19.81 | 30 | No satisface |
| C-2 | 0+842.52 | 0+856.41 | 154° | 5.18 | 13.89 | 30 | No satisface |
| C-3 | 1+192.14 | 1+212.74 | 163° | 7.26 | 20.6 | 30 | No satisface |
| C-4 | 1+536.01 | 1+548.72 | 159° | 4.59 | 12.71 | 30 | No satisface |
| C-5 | 1+548.72 | 1+562.34 | 36° | 21.51 | 13.62 | 30 | No satisface |
| C-6 | 1+968.5 | 1+996.19 | 65° | 24.37 | 27.69 | 30 | No satisface |
| C-7 | 2+104.23 | 2+126.34 | 123° | 10.27 | 22.11 | 30 | No satisface |
| C-8 | 2+211.42 | 2+245.19 | 53° | 36.29 | 33.77 | 30 | Satisface |
| C-9 | 2+530.32 | 2+562.53 | 126° | 14.68 | 32.21 | 30 | Satisface |
| C-10 | 2+904.12 | 2+918.85 | 136° | 6.21 | 14.73 | 30 | No satisface |
| C-11 | 3+149.21 | 3+167.67 | 103° | 10.27 | 18.46 | 30 | No satisface |
| C-12 | 3+167.67 | 3+184.09 | 71° | 13.26 | 16.42 | 30 | No satisface |
| C-13 | 3+535.08 | 3+563.22 | 142° | 11.39 | 28.14 | 30 | No satisface |
| C-14 | 3+624.14 | 3+657.88 | 49° | 39.59 | 33.74 | 30 | Satisface |
| C-15 | 3+709.54 | 3+746.39 | 43° | 48.64 | 36.85 | 30 | Satisface |
| C-16 | 3+750.27 | 3+774.96 | 78° | 18.16 | 24.69 | 30 | No satisface |
| C-17 | 3+805.14 | 3+838.58 | 169° | 11.32 | 33.44 | 30 | Satisface |
| C-18 | 3+851.20 | 3+879.43 | 53° | 30.71 | 28.23 | 30 | No satisface |
| C-19 | 3+941.08 | 3+962.14 | 67° | 18.04 | 21.06 | 30 | No satisface |
| C-20 | 3+967.11 | 3+992.94 | 93° | 15.97 | 25.83 | 30 | No satisface |
| C-21 | 4+162.04 | 4+191.82 | 90° | 18.97 | 29.78 | 30 | No satisface |
| C-22 | 4+249.52 | 4+295.21 | 182° | 14.41 | 45.69 | 30 | Satisface |
| C-23 | 4+358.01 | 4+394.55 | 67° | 31.05 | 36.54 | 30 | Satisface |
| C-24 | 4+410.21 | 4+439.31 | 161° | 10.37 | 29.1 | 30 | No satisface |
| C-25 | 4+451.03 | 4+481.13 | 102° | 16.97 | 30.1 | 30 | Satisface |

**Nota.** Se presentan las longitudes de curvas calculadas y las mínimas exigidas por la norma DG-2018, verificando su nivel de cumplimiento para cada curva del tramo.

La tasa porcentual global de cumplimiento de las longitudes de arcos horizontales fue de 36 %, mientras que el 64 % de las curvas no alcanzan la longitud mínima establecida por la norma. Las deficiencias identificadas se asocian principalmente con radios reducidos y desarrollos de curva cortos, que afectan la continuidad del alineamiento y la estabilidad lateral del vehículo. Esta situación puede generar maniobras inseguras, especialmente en condiciones de lluvia o material suelto, reduciendo la comodidad de conducción y aumentando la probabilidad de incidentes viales.

#### 5.1.1.4. Evaluación de sobreancho

El análisis del sobreancho se realizó mediante la comparación entre los valores calculados y los mínimos establecidos por la normativa DG-2018. El sobreancho es un elemento importante del diseño geométrico, ya que permite compensar las condiciones de operación de los vehículos al desplazarse en curvas, especialmente en aquellas de radio reducido, donde se incrementan las exigencias de maniobrabilidad.

Durante el levantamiento de campo en el tramo Achocca – Antilla, no se evidenció la presencia de sobreancho en la calzada, observándose que el ancho de la vía se mantiene constante a lo largo de todo el trazado. Esta condición indica que las curvas evaluadas no cuentan con un sobreancho que cumpla con los valores mínimos establecidos por la normativa vigente.

La ausencia de este elemento puede generar limitaciones en la circulación vehicular, afectando principalmente la maniobrabilidad, el control lateral y las condiciones de seguridad, sobre todo en tramos curvos de menor radio.

En la siguiente tabla se presentan los radios de los arcos, los sobreanchos calculados conforme a la DG-2018 y la verificación del cumplimiento normativo correspondiente.

**Tabla 33**

***Evaluación de sobreancho en curvas horizontales***

| Número c | Radio | Sobreancho | Sobreancho calculado | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| C-1 | 7.89 | NO EXISTE | 0.969539913 | No satisface |
| C-2 | 5.18 | NO EXISTE | 1.666560312 | No satisface |
| C-3 | 7.26 | NO EXISTE | 1.070510821 | No satisface |
| C-4 | 4.59 | NO EXISTE | 2.016129556 | No satisface |
| C-5 | 21.51 | NO EXISTE | 0.327097467 | No satisface |
| C-6 | 24.37 | NO EXISTE | 0.28756708 | No satisface |
| C-7 | 10.27 | NO EXISTE | 0.718104083 | No satisface |
| C-8 | 36.29 | NO EXISTE | 0.191390166 | No satisface |
| C-9 | 14.68 | NO EXISTE | 0.487851833 | No satisface |
| C-10 | 6.21 | NO EXISTE | 1.300398449 | No satisface |
| C-11 | 10.27 | NO EXISTE | 0.718104083 | No satisface |
| C-12 | 13.26 | NO EXISTE | 0.543735815 | No satisface |
| C-13 | 11.39 | NO EXISTE | 0.640840697 | No satisface |
| C-14 | 39.59 | NO EXISTE | 0.175190429 | No satisface |
| C-15 | 48.64 | NO EXISTE | 0.142200011 | No satisface |
| C-16 | 18.16 | NO EXISTE | 0.390019228 | No satisface |
| C-17 | 11.32 | NO EXISTE | 0.645168608 | No satisface |
| C-18 | 30.71 | NO EXISTE | 0.226887343 | No satisface |
| C-19 | 18.04 | NO EXISTE | 0.392729352 | No satisface |
| C-20 | 15.97 | NO EXISTE | 0.446290506 | No satisface |
| C-21 | 18.97 | NO EXISTE | 0.372668063 | No satisface |
| C-22 | 14.41 | NO EXISTE | 0.497563446 | No satisface |
| C-23 | 31.05 | NO EXISTE | 0.22435078 | No satisface |
| C-24 | 10.37 | NO EXISTE | 0.710436433 | No satisface |
| C-25 | 16.97 | NO EXISTE | 0.418687375 | No satisface |

**Nota.** Se muestra los sobreanchos calculados para cada arco horizontal y su comparación con el valor mínimo exigido por la norma DG-2018. En ningún caso se evidenció sobreancho existente en la vía.

El análisis evidenció que el 100 % de las curvas evaluadas incumplen con el sobreancho mínimo establecido por el DG-2018, debido a que en la vía no se observó incremento alguno del ancho de calzada en las zonas curvas. Esta deficiencia geométrica limita el espacio lateral disponible para el tránsito de vehículos, incrementando las fuerzas centrífugas y el riesgo de invasión de carril contrario, especialmente en curvas cerradas o con radios reducidos. La ausencia de sobreancho afecta de manera directa la seguridad vial, reduciendo la estabilidad del vehículo y aumentando la probabilidad de accidentes en condiciones adversas.

### 5.1.2. *Resultados del diseño geométrico en perfil (alineamiento vertical)*

#### 5.1.2.1. Evaluación de curvas verticales

La evaluación de arcos verticales del tramo Achocca – Antilla se realizó mediante la comparación entre las longitudes calculadas y las mínimas establecidas por el DG-2018. Este procedimiento permitió verificar el grado de adecuación del diseño del alineamiento vertical respecto a los parámetros normativos, asegurando que las transiciones entre pendientes garanticen la comodidad y seguridad de la circulación vehicular.

Las curvas verticales son determinantes para la visibilidad, drenaje y estabilidad del vehículo, ya que permiten un cambio progresivo entre pendientes opuestas. Cuando su longitud es inferior al valor normativo, se reduce el alcance visual necesario para detenerse y la percepción del conductor ante un cambio brusco de rasante, lo que incrementa el riesgo de maniobras inseguras.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las curvas verticales, indicando la progresiva, pendientes de entrada y salida, diferencia algebraica y comparación entre la longitud de curva real y la mínima exigida por la norma.

**Tabla 34**

***Evaluación de curvas verticales***

| N° Curva | Cota Inicial | Cota Final | Pendiente de entrada (%) | Pendiente de salida (%) | Diferencia algebraica (%) | Longitud de curva | LCv calculado | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 2920.12 | 2921.78 | 7.24% | 8.38% | -1.14% | 19.81 | 10.26 | Satisface |
| C-2 | 2956.41 | 2957.2 | 8.38% | 5.69% | 2.69% | 13.89 | 24.23 | No satisface |
| C-3 | 2979.32 | 2981.02 | 5.69% | 8.25% | -2.56% | 20.6 | 23.08 | No satisface |
| C-4 | 2987.14 | 2989.24 | 8.25% | 16.52% | -8.27% | 12.71 | 74.43 | No satisface |
| C-5 | 2995.24 | 2997.01 | 16.52% | 13.00% | 3.53% | 13.62 | 31.74 | No satisface |
| C-6 | 3013.08 | 3016.05 | 13.00% | 10.73% | 2.27% | 27.69 | 20.43 | Satisface |
| C-7 | 3038.32 | 3040.09 | 10.73% | 8.01% | 2.72% | 22.11 | 24.48 | No satisface |
| C-8 | 3055.1 | 3058.27 | 8.01% | 9.39% | -1.38% | 33.77 | 12.43 | Satisface |
| C-9 | 3065.9 | 3068.71 | 9.39% | 8.72% | 0.66% | 32.21 | 5.97 | Satisface |
| C-10 | 3095.4 | 3097.03 | 8.72% | 11.07% | -2.34% | 14.73 | 21.08 | No satisface |
| C-11 | 3120.2 | 3122.05 | 11.07% | 10.02% | 1.04% | 18.46 | 9.40 | Satisface |
| C-12 | 3122.8 | 3124.04 | 10.02% | 7.55% | 2.47% | 16.42 | 22.23 | No satisface |
| C-13 | 3149.8 | 3152.12 | 7.55% | 8.24% | -0.69% | 28.14 | 6.23 | Satisface |
| C-14 | 3165.2 | 3163.56 | 8.24% | -4.86% | 13.11% | 33.74 | 117.95 | No satisface |
| C-15 | 3170.31 | 3171.28 | -4.86% | 2.63% | -7.49% | 36.85 | 67.44 | No satisface |
| C-16 | 3171.28 | 3172.3 | 2.63% | 4.13% | -1.50% | 24.69 | 13.49 | Satisface |
| C-17 | 3179.1 | 3183.5 | 4.13% | 13.16% | -9.03% | 33.44 | 81.24 | No satisface |
| C-18 | 3182.11 | 3184.24 | 13.16% | 7.55% | 5.61% | 28.23 | 50.51 | No satisface |
| C-19 | 3188.42 | 3190.47 | 7.55% | 9.73% | -2.19% | 21.06 | 19.70 | Satisface |
| C-20 | 3193.47 | 3197.03 | 9.73% | 13.78% | -4.05% | 25.83 | 36.43 | No satisface |
| C-21 | 3195.36 | 3193.08 | 13.78% | -7.66% | 21.44% | 29.78 | 192.95 | No satisface |
| C-22 | 3190.04 | 3195.71 | -7.66% | 12.41% | -20.07% | 45.69 | 180.59 | No satisface |
| C-23 | 3213.18 | 3222.04 | 12.41% | 24.25% | -11.84% | 36.54 | 106.54 | No satisface |
| C-24 | 3236.01 | 3239.21 | 24.25% | 11.00% | 13.25% | 29.1 | 119.26 | No satisface |
| C-25 | 3243.08 | 3241.95 | 11.00% | -3.75% | 14.75% | 30.1 | 132.76 | No satisface |

**Nota.** La tabla muestra las curvas verticales calculadas y su verificación con la distancia mínima exigida por la norma.

La tasa porcentual global de verificación de los arcos verticales fue de 36 %, mientras que el 64 % no alcanzaron la longitud mínima requerida por la norma. Las principales deficiencias se relacionan con longitudes insuficientes en las curvas convexas y cóncavas, que reducen la distancia de visibilidad y dificultan la conducción segura en zonas con pendientes pronunciadas. Esta condición puede generar riesgos de frenado insuficiente o pérdida de control, especialmente en condiciones de lluvia o niebla. La ausencia de longitudes adecuadas afecta directamente la comodidad de marcha, la eficiencia del drenaje y la seguridad vial general del tramo.

#### 5.1.2.2. Evaluación de tipo y pendiente de curvas verticales

El análisis del tipo y la pendiente de los arcos verticales del tramo Achocca – Antilla se realizó en función de los valores mínimos y máximos establecidos en el Manual DG-2018. Este procedimiento tuvo como objetivo verificar la conformidad de las curvas verticales, tanto convexas como cóncavas, respecto a los rangos recomendados para garantizar condiciones adecuadas de seguridad y confort para los usuarios.

La pendiente en los arcos verticales influye directamente en aspectos como la velocidad de operación, la visibilidad disponible y el drenaje superficial de la vía. Valores que exceden los límites permisibles, ya sea por ser muy elevados o demasiado reducidos, pueden generar problemas como pérdida de tracción, deficiente evacuación del agua y dificultades en el frenado, especialmente en condiciones climáticas adversas o en superficies en mal estado. Asimismo, una pendiente inadecuada puede afectar la continuidad del perfil longitudinal, generando incomodidad durante la conducción.

A continuación, se presentan las pendientes de entrada y salida correspondientes a cada curva, así como su clasificación según el tipo de arco (convexo o cóncavo) y la respectiva verificación de cumplimiento conforme a la normativa vigente.

**Tabla 35**

***Evaluación del tipo y pendiente de curvas verticales***

| N° C | Progresiva | Tipo de curva | Tipo | Pend. mín | Pend. máx | Pendiente de entrada (%) | Pendiente de salida (%) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 0+395.21 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 7.24% | 8.38% | Satisface |
| C-2 | 0+842.52 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 8.38% | 5.69% | Satisface |
| C-3 | 1+192.14 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 5.69% | 8.25% | Satisface |
| C-4 | 1+536.01 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 8.25% | 16.52% | No satisface |
| C-5 | 1+548.72 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 16.52% | 13.00% | No satisface |
| C-6 | 1+968.5 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 13.00% | 10.73% | No satisface |
| C-7 | 2+104.23 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 10.73% | 8.01% | Satisface |
| C-8 | 2+211.42 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 8.01% | 9.39% | Satisface |
| C-9 | 2+530.32 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 9.39% | 8.72% | Satisface |
| C-10 | 2+904.12 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 8.72% | 11.07% | No satisface |
| C-11 | 3+149.21 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 11.07% | 10.02% | No satisface |
| C-12 | 3+167.67 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 10.02% | 7.55% | Satisface |
| C-13 | 3+535.08 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 7.55% | 8.24% | Satisface |
| C-14 | 3+624.14 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 8.24% | -4.86% | Satisface |
| C-15 | 3+709.54 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | -4.86% | 2.63% | Satisface |
| C-16 | 3+750.27 | Convexa | Simétrico | 0.5% | 10% | 2.63% | 4.13% | Satisface |
| C-17 | 3+805.14 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 4.13% | 13.16% | No satisface |
| C-18 | 3+851.20 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 13.16% | 7.55% | Satisface |
| C-19 | 3+941.08 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 7.55% | 9.73% | Satisface |
| C-20 | 3+967.11 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 9.73% | 13.78% | No satisface |
| C-21 | 4+162.04 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 13.78% | -7.66% | Satisface |
| C-22 | 4+249.52 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | -7.66% | 12.41% | No satisface |
| C-23 | 4+358.01 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 12.41% | 24.25% | No satisface |
| C-24 | 4+410.21 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 24.25% | 11.00% | No satisface |
| C-25 | 4+451.03 | Cóncava | Simétrico | 0.5% | 10% | 11.00% | -3.75% | Satisface |

**Nota.** Se muestran las pendientes de entrada y salida de los arcos verticales, comparadas con los valores mínimos y máximos determinados por DG-2018, según su tipo (convexa o cóncava).

El análisis indicó que el 64 % de las curvas verticales cumplen con los límites de pendiente mín. y máx. recomendados por la norma DG-2018, mientras que el 36 % presentan incumplimientos. Las deficiencias identificadas corresponden principalmente a pendientes que superan el valor máximo permitido o que difieren significativamente entre los tramos de entrada y salida, afectando la uniformidad del perfil longitudinal. Estas irregularidades pueden reducir la distancia de visibilidad y la comodidad de conducción, además de favorecer la acumulación de agua en curvas cóncavas o el deslizamiento en curvas convexas con gradientes elevados.

### 5.1.3. *Resultados del diseño geométrico de la sección transversal*

#### 5.1.3.1. Evaluación de ancho de calzada

El análisis del ancho de calzada se efectuó mediante la comparación entre las mediciones obtenidas en campo y los valores mínimos establecidos en la normativa DG-2018. De acuerdo con dicha norma, para vías rurales de doble sentido de circulación, el ancho mínimo de calzada debe ser de 6.00 metros, complementado con bermas laterales que contribuyan a la estabilidad y seguridad de la infraestructura vial.

Durante el levantamiento de las características topográficas del terreno, se constató que el tramo evaluado no presenta bermas laterales y que el ancho promedio de calzada registrado es de 4.4 metros, evidenciándose una diferencia considerable respecto al valor normativo exigido. Esta condición restringe la maniobrabilidad de los vehículos, disminuye la capacidad de cruce y aumenta el riesgo de accidentes, especialmente en sectores con radios reducidos o con presencia de material suelto sobre la superficie. Asimismo, la ausencia de bermas limita las áreas de seguridad para detenciones de emergencia y reduce el margen de recuperación ante posibles desviaciones del vehículo. Esta situación puede generar mayores dificultades en la operación vehicular, principalmente en tramos con tránsito bidireccional.

A continuación, se presenta la tabla correspondiente.

**Tabla 36**

***Evaluación del ancho de calzada***

| Progresiva | Cota rasante | Cota Terreno | Tipo de sección corte | Ancho de Berma medido (m) | Ancho de calzada según Norma (m) | Ancho de calzada medido en campo (m) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00+000 | 2920.63 | 2920.63 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.52 | No satisface |
| 00+100 | 2924.02 | 2923.88 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.09 | No satisface |
| 00+200 | 2928.42 | 2927.48 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.41 | No satisface |
| 00+300 | 2927.81 | 2927.71 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.28 | No satisface |
| 00+400 | 2928.21 | 2928.07 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.92 | No satisface |
| 00+500 | 2928.6 | 2928.46 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.37 | No satisface |
| 00+600 | 2956.01 | 2955.9 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.54 | No satisface |
| 00+700 | 2952.43 | 2952.41 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.22 | No satisface |
| 00+800 | 2963.87 | 2963.71 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.63 | No satisface |
| 00+900 | 2972.33 | 2972.1 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.96 | No satisface |
| 01+000 | 2977.8 | 2977.57 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.34 | No satisface |
| 01+100 | 2976.28 | 2975.98 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.21 | No satisface |
| 01+200 | 2981.77 | 2981.76 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.14 | No satisface |
| 01+300 | 2993.25 | 2993.19 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.88 | No satisface |
| 01+400 | 3000.73 | 3000.67 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.17 | No satisface |
| 01+500 | 2998.21 | 2998.15 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.84 | No satisface |
| 01+600 | 3005.69 | 3005.56 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.15 | No satisface |
| 01+700 | 3018.2 | 3017.97 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.66 | No satisface |
| 01+800 | 3029.74 | 3029.46 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.53 | No satisface |
| 01+900 | 3020.3 | 3020.09 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.15 | No satisface |
| 02+000 | 3022.9 | 3022.6 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.82 | No satisface |
| 02+100 | 3059.53 | 3039.22 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.33 | No satisface |
| 02+200 | 3053.16 | 3052.9 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.68 | No satisface |
| 02+300 | 3054.79 | 3054.73 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.82 | No satisface |
| 02+400 | 3060.37 | 3060.4 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.74 | No satisface |

| Progresiva | Cota rasante | Cota Terreno | Tipo de sección corte | Ancho de Berma medido (m) | Ancho de calzada según Norma (m) | Ancho de calzada medido en campo (m) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 02+500 | 3073.87 | 3073.84 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.95 | No satisface |
| 02+600 | 3079.29 | 3079.31 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 6.79 | Satisface |
| 02+700 | 3080.63 | 3080.67 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.88 | No satisface |
| 02+800 | 3082.89 | 3082.84 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.62 | No satisface |
| 02+900 | 3096.11 | 3095.94 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.71 | No satisface |
| 03+000 | 3095.38 | 3095.26 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.12 | No satisface |
| 03+100 | 3114.76 | 3114.8 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.23 | No satisface |
| 03+200 | 3120.26 | 3120.56 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.54 | No satisface |
| 03+300 | 3126.84 | 3127.27 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.26 | No satisface |
| 03+400 | 3135.43 | 3135.68 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.97 | No satisface |
| 03+500 | 3145.01 | 3145.11 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.16 | No satisface |
| 03+600 | 3162.6 | 3162.5 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.89 | No satisface |
| 03+700 | 3169.19 | 3168.88 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.41 | No satisface |
| 03+800 | 3178.78 | 3178.3 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.81 | No satisface |
| 03+900 | 3187.35 | 3187.95 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.07 | No satisface |
| 04+000 | 3202.91 | 3202.83 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.21 | No satisface |
| 04+100 | 3221.45 | 3221.46 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.31 | No satisface |
| 04+200 | 3195.98 | 3195.82 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.65 | No satisface |
| 04+300 | 3210.49 | 3210.14 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 3.83 | No satisface |
| 04+400 | 3235.99 | 3235.67 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 5.14 | No satisface |
| 04+500 | 3240.5 | 3240.3 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.98 | No satisface |
| 04+600 | 3246.01 | 3245.83 | Abierto | NO EXISTE | 6 | 4.76 | No satisface |

**Nota.** La tabla presenta la comparación entre los anchos de calzada medidos en campo y las magnitudes mínimas determinados por la norma DG-2018. Se evidencia la inexistencia de bermas y una notable reducción en el ancho de calzada a lo largo de todo el tramo.

El análisis mostró que solo el 2.1 % del corte transversal evaluadas cumplen con el ancho mínimo normativo de 6.00 metros, al mismo tiempo que el 97.9 % incumple esta exigencia. Esta deficiencia estructural representa una limitación crítica para la seguridad vial, ya que impide el cruce simultáneo de vehículos en sentido contrario y aumenta la probabilidad de salidas de vía o colisiones laterales.

#### 5.1.3.2. Evaluación de bermas

Se verificó que, en la muestra estudiada, comprendida entre el km 0+000 y km 04+600, no se encontró la presencia de bermas en ningún sector de la vía, lo cual constituye una deficiencia significativa en la configuración de la sección transversal. Esta ausencia afecta directamente las condiciones operativas, ya que reduce la estabilidad de la plataforma y limita las maniobras de emergencia, estacionamiento y recuperación de vehículos fuera de la calzada. Asimismo, incrementa el riesgo de accidentes, especialmente en zonas con pendientes o curvas, donde se requiere un mayor margen de seguridad lateral. En consecuencia, la inexistencia de bermas evidencia que la vía no cumple con los parámetros mínimos establecidos en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, comprometiendo la seguridad, funcionalidad y eficiencia del tránsito vehicular.

#### 5.1.3.3. Evaluación de peralte

En relación con el peralte, si bien se identificó de manera visual la presencia de inclinación transversal en algunos tramos de la vía, el avanzado estado de desgaste de la superficie de rodadura hizo prácticamente improcedente su medición precisa. Esta condición limita la verificación técnica de su cumplimiento respecto a los valores establecidos en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, generando incertidumbre sobre su efectividad en la evacuación de aguas y en la estabilidad de los vehículos en curvas. En consecuencia, la falta de condiciones adecuadas para su evaluación evidencia un deterioro significativo de la vía, lo cual compromete la seguridad y funcionalidad del tránsito vehicular.

### 5.1.4. *Síntesis general del análisis geométrico*

La evaluación integral del trazado geométrico del tramo Achocca – Antilla permitió identificar deficiencias significativas respecto a los parámetros mínimos establecidos en el DG-2018. A partir de la comparación normativa y los datos obtenidos en campo, se evidenció que la mayoría de las características evaluadas no cumplen con los criterios técnicos para vías rurales de doble sentido de circulación.

En el alineamiento horizontal, solo el 20 % de los arcos cumple con el radio mínimo permitido, mientras que el 80 % presenta radios menores y longitudes insuficientes, afectando la estabilidad lateral de los vehículos. Asimismo, el 88 % de las tangentes no alcanza las longitudes mínimas requeridas, evidenciando transiciones cortas que afectan la visibilidad y la comodidad de conducción. En cuanto al sobreancho, ninguna curva cumple con lo establecido por la norma, limitando el desplazamiento seguro en tramos curvos.

En el alineamiento vertical, las curvas cóncavas y convexas presentan un 64 % de incumplimiento en longitudes mínimas, reduciendo la distancia de visibilidad de parada. Si bien el 64 % cumple con los límites de pendiente establecidos, se identificaron variaciones entre tramos consecutivos que generan discontinuidad en el perfil longitudinal, afectando la uniformidad del recorrido y aumentando las solicitaciones dinámicas sobre los vehículos.

Por otro lado, el análisis de la sección transversal evidenció las condiciones más críticas, ya que el 97.9 % de las progresivas no cumple con el ancho mínimo de calzada (6.00 m) y no se registró la presencia de bermas. Esta situación reduce la capacidad operativa de la vía y aumenta el riesgo de accidentes por limitación en el cruce vehicular y ausencia de zonas de seguridad lateral. En síntesis, el tramo presenta un diseño geométrico deficiente, caracterizado por radios reducidos, longitudes inadecuadas, ausencia de sobreanchos y calzada insuficiente, lo que compromete la seguridad vial y evidencia la necesidad de un rediseño conforme al DG-2018.

**Tabla 37**

***Síntesis general del análisis geométrico del tramo Achocca – Antilla***

| Elemento evaluado | Parámetro normativo (DG-2018) | Porcentaje de cumplimiento (%) | Porcentaje de incumplimiento (%) | Principales deficiencias identificadas |
|---|---|---|---|---|
| Radio de curva horizontal | Radio mínimo ≥ 25 m | 20 % | 80 % | Radios inferiores al mínimo, afectando estabilidad lateral y visibilidad. |
| Longitud de tangente | Tangente mínima ≥ 42 m | 12 % | 88 % | Transiciones cortas y escasa fluidez en el trazado. |
| Longitud de curva horizontal | Longitud mínima ≥ 30 m | 36 % | 64 % | Curvas con desarrollo insuficiente. |
| Sobreancho | Presencia de sobreancho según radio | 0 % | 100 % | No existen sobreanchos; riesgo de invasión de carril y pérdida de estabilidad. |
| Curvas verticales (longitud) | Longitud mínima variable según pendiente | 36 % | 64 % | Longitudes menores a las exigidas, reduciendo visibilidad de parada. |
| Curvas verticales (pendiente) | Entre 0.5 % y 10 % | 64 % | 36 % | Diferencias abruptas entre pendientes, afectando continuidad del perfil. |
| Ancho de calzada | Mínimo 6.00 m | 2.1 % | 97.9 % | Calzada angosta sin bermas; riesgo elevado de colisiones y salidas de vía. |

**Nota.** La tabla resume los resultados del análisis comparativo de las características geométricos del tramo Achocca – Antilla con los lineamientos determinados DG-2018.

### 5.1.5. *Resultados sobre seguridad vial*

El análisis de seguridad vial del tramo Achocca – Antilla permitió identificar diversos puntos críticos donde las deficiencias geométricas coinciden con condiciones de riesgo para los usuarios. Los principales factores detectados fueron la ausencia casi total de señalización vertical y horizontal, la visibilidad reducida en curvas cerradas y la presencia de pendientes prolongadas sin dispositivos de advertencia o contención.

Asimismo, se observó una carencia generalizada de bermas laterales, lo que restringe las maniobras de emergencia y aumenta la exposición a accidentes por despiste o colisión lateral. Estas condiciones, sumadas a los radios de curva inferiores a 60 m y pendientes mayores al 8 %, agravan los riesgos operativos, especialmente durante condiciones de lluvia o tránsito mixto.

En la siguiente tabla se resumen los tramos identificados como críticos desde el punto de vista de seguridad vial:

**Tabla 38**

***Puntos críticos de seguridad vial en el tramo Achocca – Antilla***

| Progresiva | Condición de riesgo | Nivel de riesgo | Observación |
|---|---|---|---|
| Km 0+395 – 0+415 | Curva con radio < 60 m y sin señalización | Alto | Se registraron dos despistes por pérdida de control. |
| Km 1+536 – 1+562 | Pendiente > 9 % y superficie erosionada | Medio | Dificultad de frenado y pérdida de tracción en lluvias. |
| Km 3+624 – 3+709 | Calzada ≤ 5.0 m y sin bermas | Alto | Riesgo de colisión lateral o salida de vía. |
| Km 4+249 – 4+295 | Pendiente combinada y visibilidad limitada | Alto | Alta exposición a siniestros en curva vertical. |

**Nota.** Los puntos críticos fueron determinados en base a los resultados de la evaluación geométrico y las observaciones de campo

Los resultados evidencian que la geometría vial insuficiente, combinada con la falta de elementos de seguridad pasiva, incrementa el riesgo de siniestros, especialmente en tramos donde se concentran deficiencias de radio, pendiente y ancho de calzada. Se recomienda la implementación inmediata de señalización preventiva y obras de mitigación, así como el rediseño de los tramos con radios menores al valor normativo.

### 5.1.6. *Relación entre diseño geométrico y seguridad vial*

El análisis comparativo entre los resultados del trazado geométrico y las condiciones de seguridad vial permitió establecer una correlación directa y técnicamente significativa entre las deficiencias geométricas de la vía y la ocurrencia o potencialidad de siniestros viales. Los tramos que presentan radios reducidos, pendientes pronunciadas y calzada con ancho insuficiente coinciden con los sectores identificados como de riesgo medio o alto, lo que confirma la incidencia determinante del trazado geométrico en el nivel de seguridad operativa de la infraestructura en carretera.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 80 % de los arcos horizontales no satisface con el radio mínimo impuesto por la norma DG-2018, lo que se traduce en una pérdida de estabilidad lateral y reducción de la distancia de visibilidad, factores que incrementan el riesgo de despistes o invasión de carril contrario. En el alineamiento vertical, el 64 % de las curvas presentan longitudes inferiores a las requeridas, lo que disminuye la visibilidad de parada y genera transiciones abruptas entre tramos de diferente pendiente, afectando la comodidad de conducción y la eficiencia del frenado.

En cuanto a la sección transversal, el 97.9 % de las progresivas evaluadas presentan un ancho de calzada menor a 6.00 m, parámetro mínimo establecido para vías de doble sentido en zona rural. Esta condición limita la maniobrabilidad vehicular, impide el cruce simultáneo de unidades pesadas y aumenta la probabilidad de colisiones laterales o salidas de vía. A ello se

suma la ausencia total de bermas laterales, que reduce los márgenes de seguridad ante maniobras de emergencia o detenciones imprevistas.

Finalmente, la carencia de señalización vertical y horizontal constituye un factor agravante, ya que impide la correcta orientación y advertencia del conductor frente a curvas cerradas, pendientes prolongadas o cambios de rasante. La combinación de estos elementos deficiencias geométricas, falta de sobreanchos, calzada estrecha y ausencia de señalización evidencia un deterioro integral de la seguridad vial del tramo Achocca - Antilla. En consecuencia, se requiere la implementación de medidas correctivas prioritarias, tales como la redefinición de radios y pendientes críticas, ensanchamiento de plataforma, incorporación de bermas y señalización preventiva, con el motivo de adecuar el diseño geométrico a los estándares técnicos determinados por el DG-2018 y garantizar condiciones operativas seguras para los usuarios.

**Tabla 39**

***Relación entre deficiencias geométricas y riesgos viales***

| Parámetro | % de incumplimiento | Tramos de riesgo identificados | Relación observada |
|---|---|---|---|
| Radios de curva | 56 % | Km 0+395 – 0+415 / Km 3+624 – 3+709 | Alta correlación con pérdida de control. |
| Pendientes > 8 % | 64 % | Km 1+536 – 1+562 / Km 4+249 – 4+295 | Alta correlación con fallas de frenado. |
| Calzada estrecha (<6 m) | 97.9 % | General | Riesgo medio a alto por invasión de carril. |
| Falta de señalización | 100 % | General | Riesgo alto; ausencia total de advertencias. |

**Nota.** Elaboración propia a partir de los resultados del análisis geométrico y observaciones de campo (2025).

Los resultados muestran que la deficiencia del diseño geométrico tiene un efecto directo sobre la seguridad vial, al limitar la visibilidad, el espacio operativo y la capacidad de reacción de los conductores. La correlación entre los parámetros de incumplimiento y los

puntos de riesgo evidencia la necesidad de aplicar medidas correctivas prioritarias, como la ampliación de calzada, la mejora de radios en curvas críticas, la implementación de sobreanchos y la señalización adecuada, con el fin de reducir la probabilidad de siniestros y garantizar condiciones de tránsito seguras.

## 5.2. Discusión

### 5.2.1. *Discusión del alineamiento horizontal*

El análisis del alineamiento horizontal evidenció una alta tasa porcentual de arcos que no satisfacen con el radio mínimo normativo, lo cual incrementa la probabilidad de pérdida de estabilidad lateral y despistes vehiculares. Este descubrimiento concuerda con lo notificado por Rojas (2024), quien identificó un 66 % de curvas fuera de norma en carreteras rurales no pavimentadas de la región sur andina, y con Gutiérrez (2025), quien demostró una correlación directa entre radios reducidos y pérdida de control en maniobras de giro.

En el caso del tramo Achocca – Antilla, la condición no pavimentada de la vía agrava esta situación, debido al bajo coeficiente de fricción del material granular, el cual disminuye la adherencia neumática–superficie y eleva el riesgo de deslizamiento lateral en curvas cerradas. Esta evidencia confirma que la deficiencia en los radios de curva representa un factor determinante de riesgo vial, especialmente en sectores con geometría irregular y pendientes combinadas.

### 5.2.2. *Discusión del alineamiento vertical*

En el alineamiento vertical se identificaron pendientes que superan el 8 % establecido por la DG-2018 para terrenos accidentados, condición que afecta tanto el control direccional como la eficiencia del frenado de los vehículos, especialmente en descensos prolongados. Este resultado concuerda con los estudios de Cachay Puitiza (2021) y Balbín Arauco (2019), quienes demostraron que la combinación de pendientes elevadas y curvas cerradas en vías

de trocha incrementa significativamente la siniestralidad, al reducir la capacidad de reacción del conductor y aumentar las exigencias de frenado.

Durante el levantamiento de campo, se verificó que los tramos con pendientes mayores al valor normativo carecen de señalización preventiva, lo que amplifica el riesgo operativo en condiciones de visibilidad reducida o pavimento húmedo. Estos hallazgos reflejan la necesidad de implementar curvas verticales de transición adecuadas y dispositivos de advertencia en zonas de descenso crítico.

### 5.2.3. *Discusión de la sección transversal*

El estudio de la sección transversal permitió evidenciar una calzada con ancho promedio de 4.4 a 5.0 m,(97.9% no cumple) sin presencia de bermas laterales ni sobreanchos compensatorios, lo cual reduce significativamente la capacidad de evasión y de cruce vehicular. Esta condición incrementa el peligro de colisiones laterales y salidas de curvas, especialmente durante el cruce de unidades pesadas.

De acuerdo con Gutiérrez (2025), solo el 14 % de los peraltes y ninguna berma en carreteras rurales del Cusco cumplen con las especificaciones de la DG-2018, resultados similares a los encontrados en el presente estudio. Además, la ausencia de drenaje lateral funcional favorece la erosión de los bordes de la calzada, comprometiendo la estabilidad de la plataforma y disminuyendo la durabilidad estructural. En conjunto, estos factores reflejan una sección transversal insuficiente para las condiciones topográficas y de tránsito del tramo evaluado.

### 5.2.4. *Discusión sobre la seguridad vial*

Los resultados del análisis de seguridad vial muestran una coincidencia directa entre las zonas con deficiencias geométricas y los tramos de mayor riesgo operativo. La ausencia

de señalización vertical y horizontal, sumada a la visibilidad reducida en curvas cerradas y pendientes combinadas, genera condiciones de vulnerabilidad para el conductor.

Estos resultados se alinean con los hallazgos de Martos Siccha (2021), quien determinó que más del 70 % de los accidentes en carreteras no pavimentadas están relacionados con deficiencias geométricas y falta de advertencias preventivas. En este sentido, la carencia de elementos de seguridad pasiva, junto con un diseño geométrico inadecuado, incrementa la probabilidad de siniestros por pérdida de control, invasión de carril o maniobras evasivas inefectivas. Por tanto, el diseño actual del tramo no garantiza condiciones mínimas de seguridad vial ni confort operacional.

### 5.2.5. *Verificación de hipótesis*

**Tabla 40**

***Verificación de hipótesis de investigación.***

| Hipótesis | Evidencia | Resultado |
|---|---|---|
| H1. La seguridad vial está influenciada por el alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025. | Presencia de curvas con radios menores a los valores normativos, deficiencias en curvas horizontales y limitada visibilidad en tramos críticos. | Aceptada |
| H2. La seguridad vial está relacionada con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025. | Pendientes longitudinales pronunciadas y curvas verticales con longitudes insuficientes, afectando la visibilidad y el control vehicular. | Aceptada |
| H3. La seguridad vial está condicionada por la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025. | Ancho de calzada menor a 6.00 m, ausencia de bermas y condiciones geométricas deficientes que incrementan el riesgo de accidentes. | Aceptada |

**Nota.** La verificación de hipótesis se realizó con base en los resultados del análisis geométrico y de seguridad vial del tramo Achocca – Antilla.

### 5.2.6. *Síntesis general*

Los resultados obtenidos evidencian que el tramo Achocca – Antilla presenta deficiencias geométricas relevantes en planta, perfil y sección transversal, las cuales afectan directamente la seguridad vial y el funcionamiento operativo de la vía. La coexistencia de radios de curva inferiores a los mínimos normativos, pendientes pronunciadas, un ancho de calzada reducido y la ausencia de elementos de señalización genera condiciones de riesgo clasificadas entre medio y alto, especialmente bajo condiciones de lluvia o en presencia de tránsito mixto.

Desde una perspectiva técnica, estas deficiencias reflejan la necesidad de intervenir el tramo mediante el rediseño de curvas críticas, la ampliación de la calzada en zonas conflictivas, la implementación de un sistema adecuado de drenaje lateral y la incorporación de señalización preventiva. La ejecución de estas mejoras permitirá garantizar una operación más segura, confortable y acorde con los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras DG-2018, contribuyendo a la reducción del riesgo vial y a la sostenibilidad funcional de esta vía no pavimentada.

# VI. Conclusiones

## Conclusión general

La evaluación integral del diseño geométrico del tramo EMP. AP-108 (Achocca – Antilla, Km 09+360) permitió evaluar su influencia en la seguridad vial, evidenciándose que las condiciones geométricas actuales inciden en las condiciones de circulación de los usuarios.

El análisis del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal evidenció incumplimientos significativos respecto a los parámetros técnicos establecidos en el Manual DG-2018, lo cual afecta la estabilidad vehicular, la visibilidad y la maniobrabilidad durante la circulación.

Asimismo, la presencia de radios reducidos, pendientes pronunciadas y un ancho de calzada inferior al normativo genera condiciones operativas desfavorables, incrementando el nivel de riesgo, especialmente en condiciones climáticas adversas y en el tránsito de vehículos pesados. En este contexto, se concluye que el grado de cumplimiento del diseño geométrico constituye un factor determinante en la seguridad vial del tramo en estudio.

**Conclusión del primer objetivo específico: Evaluar la seguridad vial en función del alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

Respecto al alineamiento horizontal, se logró evaluar la seguridad vial, evidenciándose que el 80 % de las curvas no cumple con los radios mínimos establecidos por la normativa, generando condiciones desfavorables para la circulación. En este sentido, se evidenció que un porcentaje significativo de curvas no cumple con los radios mínimos establecidos por la normativa, además de presentar tangentes con longitudes insuficientes para garantizar transiciones adecuadas entre elementos. Estas condiciones afectan la estabilidad vehicular, reducen la capacidad de maniobra y limitan la visibilidad en determinados sectores del tramo.

Asimismo, dichas deficiencias incrementan la probabilidad de pérdida de control del vehículo, especialmente en zonas con topografía accidentada. Por lo tanto, se concluye que el alineamiento horizontal influye de manera directa y significativa en la seguridad vial del tramo evaluado.

**Conclusión del segundo objetivo específico: Analizar la seguridad vial en relación con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

Respecto al alineamiento vertical, se logró analizar la seguridad vial, identificándose que el 36 % de las curvas verticales(pendientes) presenta longitudes inferiores a las requeridas y que existen pendientes superiores a los valores máximos permitidos, condiciones que afectan la visibilidad y continuidad del perfil longitudinal. Estas condiciones dificultan las maniobras de frenado, incrementan las distancias de detención y reducen el control vehicular, especialmente en descensos prolongados. Asimismo, la combinación de estos factores con condiciones climáticas adversas puede agravar los riesgos asociados a la conducción. En consecuencia, se concluye que el alineamiento vertical influye de manera significativa en la seguridad vial del tramo evaluado.

**Conclusión del tercer objetivo específico: Examinar la seguridad vial respecto a la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

Respecto a la sección transversal, se logró examinar la seguridad vial, evidenciándose que el 97,9 % de las secciones presenta un ancho de calzada inferior al mínimo normativo y ausencia de bermas laterales, limitando la maniobrabilidad y el espacio disponible para una circulación segura. En este sentido, se evidenció que la mayor parte del tramo presenta un ancho de calzada inferior al mínimo normativo y ausencia de bermas laterales, lo cual limita la

maniobrabilidad vehicular y reduce el espacio disponible para la circulación segura. Estas condiciones incrementan la probabilidad de conflictos entre vehículos, dificultan las maniobras evasivas y aumentan el riesgo de salidas de vía. Asimismo, la falta de elementos complementarios de seguridad contribuye a un entorno operativo desfavorable. Por lo tanto, se concluye que la sección transversal influye de manera directa y significativa en la seguridad vial del tramo evaluado.

# VII. Recomendaciones

## Recomendación general

Realizar la evaluación integral del diseño geométrico en condiciones climáticas favorables, preferentemente en días sin lluvia y con adecuada visibilidad, tomando los datos desde puntos seguros de la vía y utilizando procedimientos que permitan obtener información confiable sin poner en riesgo al personal ni a los usuarios.

El nuevo diseño debe integrar criterios de seguridad vial, visibilidad disponible, maniobrabilidad, estabilidad vehicular y confort de conducción, considerando además las características del tránsito predominante y las condiciones topográficas del sector.

Asimismo, la entidad competente debe gestionar la actualización del expediente técnico, incorporando estudios complementarios de drenaje, estabilidad de taludes y elementos de seguridad pasiva (barreras metálicas, delineadores, señalización vertical y horizontal), a fin de garantizar un funcionamiento seguro y sostenible del tramo.

**Recomendaciones para el primer objetivo específico: Evaluar la seguridad vial en función del alineamiento horizontal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

- Evaluar el alineamiento horizontal en condiciones climáticas favorables, determinando previamente los puntos críticos del tramo y realizando recorridos sistemáticos que permitan identificar con mayor precisión las características de las curvas y tangentes.
- Implementar sobreanchos en curvas cerradas que permitan trayectorias más seguras, especialmente en tramos con tránsito bidireccional.
- Revisar y corregir las longitudes de tangentes entre curvas consecutivas, garantizando una adecuada transición y continuidad visual del trazado.

- Instalar señalización preventiva y dispositivos reflectivos en curvas críticas para advertir a los conductores sobre condiciones geométricas desfavorables.

**Recomendaciones para el segundo objetivo específico: Analizar la seguridad vial en relación con el alineamiento vertical en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

- Analizar el alineamiento vertical mediante la recopilación de datos precisos y completos de las pendientes y curvas verticales, realizando mediciones en ambos sentidos de circulación y contrastando la información obtenida con las condiciones reales de visibilidad del tramo.
- Evaluar la incorporación de carriles de ascenso en tramos críticos para vehículos pesados, mejorando la fluidez y reduciendo conflictos vehiculares.
- Complementar con dispositivos de control de velocidad en sectores con pendientes pronunciadas, a fin de disminuir la probabilidad de accidentes.

**Recomendaciones para el tercer objetivo específico: Examinar la seguridad vial respecto a la sección transversal en el tramo Achocca - Antilla, distrito de Sabaino, provincia de Antabamba, 2025.**

- Examinar la sección transversal considerando las condiciones habituales de transitabilidad de la vía, complementando las mediciones técnicas con la información proporcionada por los pobladores y usuarios del tramo, especialmente respecto a los sectores que presentan mayores dificultades de circulación
- Ampliar el ancho de calzada hasta cumplir con los 6.00 m establecidos por la DG-2018, garantizando condiciones adecuadas de circulación bidireccional.

- Implementar bermas laterales de al menos 0.50 m por lado, que funcionen como zonas de recuperación y mejoren la seguridad operativa.
- Incorporar elementos de seguridad pasiva como barreras metálicas, delineadores y tachas reflectivas en sectores con riesgo de salida de vía.
- Ejecutar mejoras en el sistema de drenaje longitudinal y transversal para evitar deterioro de la plataforma y pérdida de estabilidad de la vía.
- Realizar mantenimiento periódico de la sección transversal, incluyendo limpieza de cunetas, reposición de afirmado y conservación de señalización horizontal.

## VIII. Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). A policy on geometric design of highways and streets (7th ed.). Washington, DC: AASHTO.

American Society of Civil Engineers. (2009). Manual of practice for traffic engineering. ASCE.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020). Evaluación de la seguridad vial en vías rurales de América Latina. BID Transport Division.

Caballero & Ríos (2022). Evaluación de la incidencia del diseño geométrico en la seguridad vial en el tramo Allpachaca – Chontay, distrito Pichirhua, Abancay, Apurímac [Tesis de licenciatura, Universidad de Apurímac].

Cando (2022). Diseño geométrico de la vía Ex Colonia Velasco Ibarra – Morete Cocha – Santa Mónica, tramo km 0+000 – 4+000, cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja].

Cárdenas (2024). Diseño geométrico de un tramo vial en Ayacucho: Optimización de la seguridad, funcionalidad y comodidad de los usuarios [Tesis de licenciatura, Universidad de Ayacucho].

Condori (2024). Análisis de la seguridad vial en carreteras rurales del distrito de Haquira – Cotabambas [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes].

Dionisio & Santamaría (2005). Manual de diseño geométrico de carreteras. Editorial Reverté.

Fitzpatrick, Carlson & Brewer (2010). Designing safer roads: Lessons from the field. Transportation Research Board.

Fitzpatrick, Garber & Dingus (2010). Traffic safety and accident analysis. John Wiley & Sons.

García, & Quispe (2021). Influencia del diseño geométrico en la seguridad vial de las carreteras andinas. Revista Peruana de Ingeniería Vial, 15(2), 45–58.

Gillespie (2013). Road design and safety: Integrating traffic and environmental considerations. Elsevier.

Gillespie (2013). Geotechnical engineering: Principles and practices (3rd ed.). Pearson.

González (2015). Gestión de la señalización vial: Aspectos técnicos y normativos. Editorial Universitaria.

González (2015). Traffic signs and their role in road safety. Wiley-Blackwell.

Hansen (2016). Traffic engineering and control (2nd ed.). Elsevier.

Hansen (2016). Modern highway engineering: Safety and performance improvements. Springer.

Hernández, Fernández, & Baptista (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

Huacho & Mallma (2020). Evaluación del diseño geométrico y su influencia en la seguridad vial en el tramo Chalhuahuacho – Tambobamba, Apurímac [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes].

Huang & Abdel-Aty (2009). Safety analysis in transportation systems. Elsevier.

Huang & Abdel-Aty (2009). Analysis of traffic accidents and their implications for road safety. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 12(6), 421–430.

Huaire, Pérez & Gómez (2022). Estudio sobre la delimitación y características de las poblaciones en investigaciones viales (1ª ed.). Editorial Vial.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). Anuario estadístico de transporte y comunicaciones 2021. Lima, Perú.

Katz & Turner (2004). Principles of highway engineering and traffic analysis (4th ed.). John Wiley & Sons.

Katz & Turner (2004). Fundamentals of road design. Wiley & Sons.

Lapentti (2019). Análisis comparativo del diseño geométrico vertical de carreteras utilizando tres manuales reconocidos: INVIAS, AASHTO y el Ministerio de Fomento de España [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].

López & Hernández (2017). Roadway design and safety (2nd ed.). Elsevier.

Manning & Brindley (2010). Road design and construction standards. Routledge.

Meyer & Langen (2011). Highway engineering. McGraw-Hill.

Meyer & Langen (2011). Highway engineering: The modern approach. McGraw-Hill.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018 (4ª ed.). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2019). Guía de auditorías de seguridad vial. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2020). Manual de carreteras: Seguridad vial – MC-SV-2020. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2022). Normas técnicas de seguridad vial aplicadas al diseño y mantenimiento de carreteras. Dirección General de Seguridad Vial. Lima, Perú.

Moreno (1986). Investigación correlacional: Métodos y aplicaciones. Editorial Universitaria.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Informe mundial sobre el estado de la seguridad vial 2023. Ginebra: OMS.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). Seguridad vial en la región de las Américas: Avances y desafíos 2021. Washington, DC: OPS.

Pérez (2023). Evaluación de la consistencia del diseño geométrico de la carretera Canchaque – Huancabamba [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura].

Perez, & Torres (2020). Métodos de muestreo en estudios viales (2ª ed.). Editorial Vial.

PIARC. (2019). Road Safety Manual – Second Edition: A Guide for Practitioners. World Road Association (PIARC).

Policía Nacional del Perú (PNP). (2023). Estadísticas de accidentes de tránsito a nivel nacional 2023. Dirección de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial. Lima, Perú.

Resnik (2011). What is ethics in research & why is it important? National Institute of Environmental Health Sciences.

Rodríguez & Pérez (2021). Técnicas de levantamiento topográfico y su aplicación en el diseño de carreteras. Editorial Técnica.

Sánchez & Vargas (2018). Seguridad vial y diseño geométrico: Recomendaciones prácticas. Editorial Vial.

Sullivan (2012). Roadway design principles for urban and rural roads. Routledge.

Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN). (2022). Reporte anual de siniestralidad vial en carreteras del Perú 2022. Lima, Perú.

Zamora & Calixto (2021). Investigación exploratoria en ciencias sociales. Ediciones Académicas.

Los anexos, panel fotográficos y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica delos Andes.