



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



**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA
CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR TRAMO IV KM 183+720 –
231+667 DE ACUERDO A LA NORMATIVA DG-2018**

TESIS

PRESENTADA POR:

EDUARDO HENRY ALEMAN MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA CARRETERA INTEROCÉANICA SUR TRAMO IV KM 183+720 - 231+667 DE ACUERDO A LA NORMATIVA DG-2018.pdf

AUTOR

EDUARDO HENRY ALEMAN MAMANI

RECuento de palabras

25652 Words

RECuento de caracteres

135585 Characters

RECuento de páginas

160 Pages

Tamaño del archivo

5.3MB

Fecha de entrega

Oct 26, 2024 4:35 PM GMT-5

Fecha del informe

Oct 26, 2024 4:37 PM GMT-5

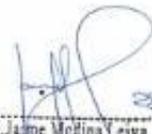
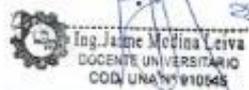
● **13% de similitud general**

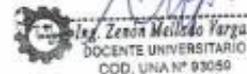
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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

UPA
28 Oct 2024 2:24 p


SUSCRIBIDO POR: J.M.L.

Resumen



DEDICATORIA

A mi padre Eufrazio, por tu amor incondicional, apoyo, guía y sacrificio. Gracias por creer en mi y hacer posible este logro.

A la memoria de mi adorada madre Estela, cuyo amor y legado viven en mi. Aunque no estés físicamente presente tus enseñanzas me han guiado en este camino, te amo y te recuerdo siempre.

Eduardo Henry Aleman Mamani



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente

A Dios, por la sabiduría y fortaleza que me permitió completar esta tesis.

A la Escuela Profesional de Ing. Civil de la Universidad Nacional del Altiplano por los conocimientos transmitidos en los 5 años de preparación profesional.

Al Ing. Zenon Mellado Vargas, por su apoyo como asesor de tesis en este arduo camino.

A mis jurados Ing. Nicolas Luza Flores, Ing. Gleny Zoila de la Riva Tapia, Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani por su orientación y su tiempo en la evaluación de esta investigación.

Eduardo Henry Aleman Mamani



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT.....	19
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1. Pregunta general.....	21
1.2.2. Preguntas específicas	22
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1. Hipótesis general.....	22
1.3.2. Hipótesis específicas	22
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5.1. Objetivo general	23
1.5.2. Objetivos específicos	23

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.2.	MARCO TEÓRICO	27
2.2.1.	Carreteras	27
2.2.2.	Diseño geométrico de carreteras	27
2.2.3.	Manual de carreteras diseño geométrico DG-2018.....	28
2.2.4.	Clasificación de las carreteras	29
2.2.4.1.	Clasificación por demanda.....	29
2.2.4.2.	Clasificación por orografía.....	30
2.2.5.	Vehículo de diseño	30
2.2.5.1.	Definición.....	30
2.2.5.2.	Vehículo T3S3	31
2.2.6.	Índice medio diario anual (IMDA)	31
2.2.7.	Velocidad de diseño	32
2.2.8.	Visibilidad en carreteras.....	34
2.2.8.1.	Distancia de visibilidad de parada	34
2.2.8.2.	Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento	35
2.2.9.	Diseño geométrico en planta	35
2.2.9.1.	Tramos en tangente	37
2.2.9.2.	Curva circular simple	39
2.2.9.2.1.	Expresiones que relacionan los elementos geométricos de la curva circular simple	40
2.2.9.2.2.	Radio mínimo en curvas circulares	41
2.2.9.3.	Curva de transición	42
2.2.9.3.1.	Expresiones que relacionan los elementos geométricos de la curva de transición	45



2.2.9.3.2.	Ventajas de la curva de transición	46
2.2.9.3.3.	Longitud mínima de la curva de transición	48
2.2.9.3.4.	Criterio por estética y guiado óptico para curvas espirales ..	49
2.2.9.4.	Curvas de vuelta.....	49
2.2.9.5.	Sobreancho.....	49
2.2.9.5.1.	Sobreancho de vehículos rígidos (DG-2018)	52
2.2.9.5.2.	Sobreancho de vehículos articulados (AASHTO 2011).....	54
2.2.9.5.3.	Desarrollo del sobreancho	61
2.2.10.	Diseño geométrico en perfil	62
2.2.10.1.	Pendiente	62
2.2.10.1.1.	Pendiente mínima y máxima	63
2.2.10.2.	Curvas verticales	64
2.2.10.2.1.	Tipos de curvas verticales.....	65
2.2.10.2.2.	Curva vertical simétrica.....	66
2.2.10.2.3.	Curva vertical asimétrica	68
2.2.10.2.4.	Longitud de curva convexa.....	70
2.2.10.2.5.	Longitud de curva cóncava.....	72
2.2.10.2.6.	Longitud mínima de cualquier curva vertical.....	73
2.2.11.	Diseño geométrico en sección transversal	74
2.2.11.1.	Elementos de la sección transversal.....	74
2.2.11.2.	Calzada o superficie de rodadura	75
2.2.11.3.	Bermas	76
2.2.11.4.	Bombeo	77
2.2.11.5.	Peralte.....	78
2.2.11.5.1.	Transición del peralte	82



2.2.12. Software BIM CIVIL 3D	85
2.2.13. Software complemento VEHICLE TRACKING	86

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	87
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.	87
3.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	88
3.4. POBLACIÓN	88
3.5. MUESTRA.....	89
3.6. MATERIALES.....	92
3.6.1. Materiales para trabajo de campo.	92
3.6.2. Materiales para trabajo de gabinete.....	92
3.7. EQUIPOS.....	92
3.8. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	92
3.8.1. Técnicas.....	92
3.8.2. Recolección de datos bibliográficos.....	93
3.8.3. Recolección de datos en campo del trazo existente	93
3.8.4. Procesamiento de datos en gabinete del trazo existente.....	94
3.8.5. Recolección de datos en campo para el trazo nuevo Km 191+000 – 194+094.296.....	95
3.8.6. Procesamiento de datos en gabinete para el trazo nuevo Km 191+000 – 194+094.296.....	96
3.9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	98

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1.	VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.....	99
4.1.1.	Conteo vehicular promedio.....	99
4.1.2.	Variación diaria y horaria.....	101
4.1.3.	Cálculo del índice medio diario anual.....	102
4.1.4.	Proyección del tráfico.	103
4.1.5.	Verificación de la velocidad de diseño del tramo existente.....	104
4.1.6.	Clasificación de la vía	106
4.1.6.1.	Clasificación por demanda.....	106
4.1.6.2.	Clasificación por orografía.....	106
4.1.6.3.	Velocidad de diseño según DG-2018.....	107
4.1.7.	Verificación de los parámetros geométricos de la carretera existente Km 183+720-Km 231+667.....	108
4.1.7.1.	Verificación de elementos en planta (curva).....	108
4.1.7.2.	Verificación elementos en planta (espiral).....	113
4.1.7.3.	Verificación elementos en planta (tangente).....	115
4.1.7.4.	Verificación elementos en perfil	118
4.1.7.5.	Verificación elementos en sección transversal	122
4.1.8.	Resumen de los resultados hipótesis 1	128
4.1.8.1.	Resumen verificación en planta	129
4.1.8.2.	Resumen verificación en perfil	129
4.1.8.3.	Resumen verificación en sección transversal.....	130
4.1.8.4.	Resumen general	130
4.1.9.	Resultado hipótesis 1.....	131
4.2.	VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.....	131
4.2.1.	Levantamiento topográfico	131



4.2.2.	Diseño de trazo nuevo entre las progresivas Km 191+000 – Km 194+094.296 según la DG-2018.	133
4.2.2.1.	Clasificación de la carretera.....	133
4.2.2.2.	Controles básicos	134
4.2.2.3.	Diseño en planta.....	135
4.2.2.4.	Diseño en perfil (Ver Anexo 08).....	141
4.2.2.5.	Diseño en sección transversal	142
4.2.3.	Simulación del trazo nuevo Km 191+000 al Km 194+094.296.....	146
4.2.4.	Modelamiento con software vehicle tracking en el trazo nuevo Km 191+000 al Km 194+094.296	147
4.2.5.	Resultados hipótesis 2	148
4.3.	VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3.....	148
4.3.1.	Estimación de costos de mantenimiento entre la progresiva Km 191+000 – Km 194+094.296.....	149
4.3.2.	Estimación de costos de pavimento nuevo entre la progresiva Km 191+000 – Km 194+094.296.	149
4.3.3.	Resultados hipótesis 3	150
V.	CONCLUSIONES.....	151
VI.	RECOMENDACIONES	152
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....		157

ÁREA: Transporte.

TEMA: Diseño geométrico.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 de noviembre de 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificación por demanda	29
Figura 2 Clasificación de carreteras por orografía.....	30
Figura 3 Vehículo T3S3.....	31
Figura 4 Rango de velocidad de diseño	33
Figura 5 Longitud mínima de curva L.	36
Figura 6 Valores de ángulos de deflexión que pueden prescindir de una curva horizontal.....	36
Figura 7 Simbología de la curva circular	39
Figura 8 Elementos geométricos de la curva espiral - circular – espiral.	43
Figura 9 Curva sin transición espiral	47
Figura 10 Curva con transición espiral	47
Figura 11 Valores del coeficiente J.....	48
Figura 12 Radios circulares límites que permiten evitar el uso de transición	48
Figura 13 Sobreecho generado a alta y baja velocidad.....	51
Figura 14 Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60m de ancho.	52
Figura 15 Sobreecho en vehículos rígidos	52
Figura 16 Sobreecho en vehículos articulados.....	55
Figura 17 Trayectoria de giro de vehículo semirremolque.	56
Figura 18 Tabla de pendiente máximas.	63
Figura 19 Casos particulares de valores de pendiente.	64
Figura 20 Tipos de curvas verticales	66
Figura 21 Curva cóncava y convexa.....	66
Figura 22 Curva vertical simétrica.....	67



Figura 23	Curva vertical asimétrica	69
Figura 24	Longitud de curva convexa	71
Figura 25	Longitud de curva cóncava.....	72
Figura 26	Sección transversal típica para carretera.	75
Figura 27	Valores de ancho mínimo de calzada en tangente	76
Figura 28	Valores de ancho de berma.....	77
Figura 29	Valores del bombeo de la calzada.	78
Figura 30	Fuerzas que actúan sobre un vehículo.	78
Figura 31	Valores de peralte máximo.	80
Figura 32	Peralte en cruce de áreas urbanas.	81
Figura 33	Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 o 3).....	81
Figura 34	Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4).....	82
Figura 35	Peralte en zonas con peligro de hielo.	82
Figura 36	Proporción de peralte a desarrollar en tangente.	83
Figura 37	Diagrama de peralte para una curva con transición.....	84
Figura 38	Diagrama de peralte para una curva simple.	85
Figura 39	Ubicación de la población de estudio.	89
Figura 40	Ubicación de la muestra de estudio.	91
Figura 41	Sistema de conteo vehicular.	94
Figura 42	Levantamiento topográfico.....	96
Figura 43	Diseño del nuevo trazo.	97
Figura 44	Simulación de recorrido vehículo T3S3.	97
Figura 45	Conteo vehicular promedio, ligeros vs pesados.	100
Figura 46	Clasificación de vehículos pesados por ejes.....	100
Figura 47	Vehículo de diseño T3S3.....	101



Figura 48	Variación diaria del conteo vehicular.....	101
Figura 49	Variación horaria del conteo vehicular.....	102
Figura 50	Proyección del tráfico para vehículos ligeros y pesados.....	104
Figura 51	Marcas para el cálculo de velocidad con dron.....	105
Figura 52	Resumen de las velocidades de operación.....	105
Figura 53	Resultados verificación del radio mínimo.....	109
Figura 54	Resultados verificación de curvas simples que prescinden de la curva de transición	110
Figura 55	Resultados verificación de longitud mínima de curva para $\Delta < 5^\circ$	111
Figura 56	Resultados verificación Lmin de curva para desarrollo de peralte.....	113
Figura 57	Resultados verificación longitud de espiral.....	114
Figura 58	Resultados verificación condición de estética y guiado óptico.....	115
Figura 59	Resultados verificación ángulos de deflexión que no requieren curva horizontal.....	116
Figura 60	Resultados verificación longitud mínima y máxima en tangente.....	118
Figura 61	Resultados verificación pendiente máxima	119
Figura 62	Resultados verificación longitud de curva convexa	121
Figura 63	Resultados verificación longitud de curva cóncava.	122
Figura 64	Resultados verificación ancho de carril.....	124
Figura 65	Resultados verificación ancho de berma.	125
Figura 66	Resultados verificación valor de peralte.....	126
Figura 67	Invasión del segundo carril por el vehículo tipo semirremolque.	127
Figura 68	Resultados verificación del valor del sobree ancho.	128
Figura 69	Resumen verificación en planta.....	129
Figura 70	Resumen verificación en perfil.....	129



Figura 71	Resumen verificación en sección transversal.	130
Figura 72	Resumen verificación de los elementos geométricos.	130
Figura 73	Levantamiento topográfico.	133
Figura 74	Clasificación de la carretera (trazo nuevo) por demanda.	134
Figura 75	Clasificación de la carretera (trazo nuevo) por orografía.	134
Figura 76	Velocidad de diseño (trazo nuevo).	135
Figura 77	Valor del ancho de calzada.	143
Figura 78	Valor del ancho de berma.	143
Figura 79	Valor del bombeo de la calzada.	144
Figura 80	Visualización de la vía (Trazo nuevo).	147
Figura 81	Recorrido del vehículo T3S3 en la progresiva 191+350.	148
Figura 82	Resumen presupuesto pavimentación nueva.	150
Figura 83	Resumen valor del sobreecho para vehículo articulado.	150



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Fricción transversal máxima en curvas.....	41
Tabla 2 Valor de C de acuerdo al ancho de carril.....	57
Tabla 3 Operacionalización de las variables.....	87
Tabla 4 Lista de BM utilizados para el levantamiento topográfico.....	95
Tabla 5 Lista de BM utilizados para el levantamiento topográfico.....	99
Tabla 6 Índice medio diario anual.....	103
Tabla 7 Resultado clasificación por demanda.....	106
Tabla 8 Resultado clasificación por orografía.....	106
Tabla 9 Resultado velocidad de diseño.....	107
Tabla 10 Resumen verificación de radio mínimo en curvas circulares.....	108
Tabla 11 Resumen verificación en curvas simples que prescinden de la curva de transición.....	110
Tabla 12 Resumen verificación longitud mínima de curva para $\Delta < 5^\circ$	111
Tabla 13 Resumen verificación Lmin de curva para desarrollo de peralte.....	112
Tabla 14 Resumen verificación longitud de espiral.....	113
Tabla 15 Resumen verificación condición estética y guiado óptico en espirales.....	114
Tabla 16 Resumen verificación ángulos de deflexión que no requieren curva horizontal.....	116
Tabla 17 Resumen cálculo de la longitud mínima y máxima en tangente.....	117
Tabla 18 Resumen verificación longitud mínima y máxima en tangente.....	117
Tabla 19 Resumen valores de pendiente máxima.....	118
Tabla 20 Resumen verificación pendiente máxima.....	119
Tabla 21 Resumen verificación longitud de curva convexa.....	120



Tabla 22	Resumen verificación longitud de curva cóncava.	122
Tabla 23	Resumen valores de ancho de carril según DG-2018.	123
Tabla 24	Resumen verificación ancho de carril.	123
Tabla 25	Resumen valores de ancho de berma según DG-2018.	124
Tabla 26	Resumen verificación ancho de berma.	125
Tabla 27	Resumen verificación valor de peralte.	126
Tabla 28	Resumen verificación valor de sobreebanco	128
Tabla 29	Lista de BM entre Km 191 al Km 194.	132
Tabla 30	Resumen de elementos de curva circular (trazo nuevo).	137
Tabla 31	Resumen de elementos de espiral (trazo nuevo).	138
Tabla 32	Resumen de elementos de segmentos en tangente (trazo nuevo).	140
Tabla 33	Resumen de elementos en perfil (Curvas verticales).	142
Tabla 34	Valor del peralte.	144
Tabla 35	Valor de la transición del peralte.	145
Tabla 36	Resumen valor del sobreebanco para vehículo articulado.	146



ACRÓNIMOS

DG:	Diseño Geométrico
DGCF:	Dirección General de Caminos y Ferrocarriles
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
CAD:	Diseño Asistido por Computador
IMDA:	Índice Medio Diario Anual
AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
UTM:	Universal Transverse Mercator
WGS84:	World Geodetic System 1984
BM:	Bench Mark
OSITRAN:	Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 de acuerdo a la normativa DG-2018. En tal sentido se realizó un estudio de tráfico con la información del Peaje Macusani (Km 187+340), se verificó la topografía del expediente técnico, se verificó la velocidad de operación de los vehículos y se procesó la información del eje existente de la vía obteniendo así los parámetros geométricos de la carretera existente y su clasificación por demanda y orografía. Posterior a ello se verificó que los parámetros geométricos en planta, perfil y sección transversal cumplan lo requerido por la norma DG-2018 dando un resultado que en planta cumplen un 49.37%, en perfil un 97.32% y en sección transversal un 9.39% haciendo un promedio de 52.03%. Posterior a ello se diseñó un nuevo trazo geométrico con el software Civil 3D 2025 de una carretera de segunda clase entre las progresivas Km 191+000 – 194+094.296 para lo cual se realizó un levantamiento topográfico, y se establece un procedimiento de diseño geométrico en planta, perfil y sección transversal cumpliendo la DG-2018, luego se realizó el modelamiento de la trayectoria del vehículo T3S3 con el software Vehicle Tracking 2025 y se elabora una vista conceptual con el software Infracore 2025. Se verificó también que a nivel de pavimentación, la influencia del costo del mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 frente a un diseño nuevo es del 22.27%.

Palabras Clave: Carreteras, Civil 3d, DG-2018, Diseño geométrico, Vehicle tracking.



ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the geometric parameters of the Interoceanic South Road Section IV Km 183+720 – 231+667 according to DG-2018 regulations. In this regard, a traffic study was conducted with information from the Macusani Toll (Km 187+340), the topography of the technical file was verified, the operating speed of the vehicles was checked, and information from the existing road axis was processed, thus obtaining the geometric parameters of the existing road and its classification by demand and orography. Subsequently, it was verified that the geometric parameters in plan, profile, and cross-section comply with DG-2018 requirements, resulting in compliance rates of 49.37% in plan, 97.32% in profile, and 9.39% in cross-section, with an average of 52.03%. After that, a new geometric design was created using Civil 3D 2025 software for a second-class road between Km 191+000 and 194+094.296, for which a topographic survey was conducted, and a geometric design procedure in plan, profile, and cross-section was established in compliance with DG-2018. Then, the vehicle trajectory of the T3S3 was modeled using Vehicle Tracking 2025 software, and a conceptual view was created with Infracore 2025 software. It was also verified that in terms of paving, the cost influence of maintaining a section of the road that does not comply with DG-2018 regulations versus a new design is 22.27%.

Keywords: Roads, Civil 3D, DG-2018, Geometric Design, Vehicle Tracking.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño geométrico de una carretera es la parte más importante ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional, con el fin de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente. (Cardenas, 2013), sin embargo existen deficiencias respecto a la interpretación de las normativas ocasionando que los diseños geométricos de carreteras no sean los adecuados.

El tramo en estudio es parte de la carretera interoceánica sur tramo IV (Ruta PE34B), inicia en el Km 183+720 (Provincia de Macusani)- y finaliza en el Km 231+667 (Distrito de Ollachea); este sector presenta un terreno bastante accidentado, partiendo desde la cota 4315 msnm hasta 2734.193 msnm en 47.947 Km, presenta un trazo bastante sinuoso de 370 puntos de inflexión (PI).

Por otro lado, se sabe que la normativa para el diseño geométrico de carreteras viene sufriendo actualizaciones con el pasar del tiempo. El tramo en estudio fue diseñado como una carretera de tercera clase considerando una velocidad de 30 Km/h según norma DG-2001 y además las curvas de volteo fueron calculadas para el radio de un vehículo C2 (Fuente: Expediente Técnico), este tramo en la actualidad no garantiza una adecuada funcionalidad y seguridad para vehículos de longitudes mayores al C2 ya que según estudios de tráfico de proyectos cercanos al lugar el vehículo con mayor longitud que transita por la vía es el semiremolque T3S3.

Se sabe también que el volumen del tráfico vehicular cada vez es mayor. Según el informe de desempeño 2021 elaborado por OSITRAN, durante el año 2021 transitaron



por la carretera Interoceánica Sur Tramo 4 alrededor de 1 203,5 mil vehículos, lo cual representó un crecimiento de 46.1% en relación con el tráfico de vehículos registrado al año 2020 (823,9 mil).

Se conoce también que los diseños de los vehículos han cambiado y por lo tanto las velocidades, además se debe tener en cuenta que, en nuestro país, el nivel de profesionalismo de los conductores de buses y de transporte de carga, es bajo, y sumado a ello se tiene las condiciones laborales a las que están sometidos estos conductores, quienes en gran cantidad de casos exceden las 4 horas continuas de conducción.

Además, según el reporte estadístico de siniestros viales 2022 de la SUTRAN, a nivel nacional la región de Puno ocupa el tercer lugar en siniestros viales con un 7.23%, respecto a los fallecidos en siniestros viales la región de Puno se encuentra en segundo lugar con 119 (12.80%).

Por esta razón, se presenta esta investigación con el fin de conocer los valores de los parámetros geométricos existentes de la carretera y verificar cuanto incumple nuestra norma peruana actual DG-2018.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – Km 231+667 cumplen la normativa DG-2018?.



1.2.2. Preguntas específicas

¿Qué porcentaje de cumplimiento de la normativa vigente DG-2018 tendrán los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – Km 231+667?.

¿Qué alternativa de solución mejorará el trazo geométrico en un sector de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 que incumple la normativa DG-2018?.

¿Cuál es la influencia del costo del mantenimiento vial de un sector que incumple la normativa DG-2018 frente a un diseño nuevo?.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Los parámetros geométricos de la carretera interoceánica sur tramo IV Km 183+720 – 231+667 no cumplen la normativa DG-2018.

1.3.2. Hipótesis específicas

Los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 no cumplen al 100% la normativa vigente DG-2018.

La propuesta del mejoramiento del trazo cumplirá la norma DG-2018 en el sector observado de la carretera Interoceánica Sur tramo IV Km 183+720 – 231+667.

La influencia del costo del mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 es menor frente a un diseño nuevo.



1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica de manera teórica porque se conocerá de algunos temas de diseño geométrico que no se encuentran en la norma DG-2018 como el sobreebanco en vehículos articulados.

Se justifica de manera metodológica ya que se establecerán procedimientos para el diseño geométrico de una carretera de segunda clase según la normativa DG-2018, estudio de tráfico, estudio de velocidad.

Se justifica de manera práctica porque los resultados pueden servir como antecedentes para proyectos de inversión que mejoren el diseño geométrico de una vía o para proyectos de investigación relacionados al tema.

Se justifica de manera social porque se busca la forma de que una carretera sea segura a nivel de diseño geométrico con el fin de que el usuario vial transite de una manera segura y cómoda.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 de acuerdo a la normativa DG-2018.

1.5.2. Objetivos específicos

Conocer el porcentaje de cumplimiento de los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 según la normativa DG-2018.



Proponer un proyecto de mejoramiento de trazo en un sector de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 que incumple la normativa DG-2018.

Estimar la influencia del costo de mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 en comparación con un diseño nuevo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación “Análisis técnico del diseño geométrico de la carretera nacional P-3N, con relación al manual de carreteras DG-2018, tramo: Km 136+000 – Km 141+000” el tesista realiza el análisis del diseño geométrico de la carretera nacional PE-3N con relación al manual de carreteras DG-2018, tramo Km 136+000 – Km 141+000 para lo cual el investigador recolectó datos de entidades nacionales, realizó levantamiento topográfico y efectuó mediciones in-situ procesando toda esta información con el software Civil 3D concluyendo que el grado de cumplimiento de carretera con relación a la normativa DG-2018 es de 47.9%. (Melendez, 2019).

En la investigación “Evaluación de las características geométricas de la carretera Llacanora – Namora, de acuerdo con el manual de diseño geométrico DG-2018” el autor evalúa las características geométricas de la carretera Llacanora – Namora de acuerdo al manual de carreteras diseño geométrico DG-2018, para lo cual el autor realiza un estudio de tráfico y un levantamiento topográfico obteniendo con el software Civil 3D una superficie para poder generar el alineamiento horizontal y vertical lo más parecido al terreno y con los datos obtenidos comparar los criterios tomados en la carretera respecto a manual DG-2018 concluyendo que la carretera actual no cumple con el 65% de sus características geométricas. (Miranda, 2022).

En la investigación “Funcionalidad de la carretera Iquitos – Nauta y rediseño del trazo en el Km 15+000 al Km 16+000 Loreto 2021” se tiene como objetivo definir un diseño geométrico consistente con las características de la vía y las condiciones actuales



de expansión urbana de la carretera Iquitos – Nauta Km 15+000 al Km 16+000, para lo cual el autor realizó un levantamiento topográfico, verificó normativas y realizó procesos con los softwares AutoCAD Civil 3D, Autocad 2018 y Microsoft Excel teniendo como resultado final la modificación del radio de una curva para poder cumplir con la normativa DG-2018. (Garcia y Santillan, 2022).

En la tesis “Evaluación de las características geométricas de la carretera Cajabamba – Ponte (Km 52+300 – Km 48+050) de acuerdo con el manual de diseño geométrico de carreteras DF-2018” el autor evalúa las características geométricas de la carretera en mención de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico DG-2018, para lo cual el autor realiza un reconocimiento de la zona de estudio, realiza un levantamiento topográfico, trabajo en gabinete procesando los datos con el software Civil 3D 2020, y así poder realizar en una hoja de cálculo el respectivo análisis de la problemática; concluyendo que en la carretera en estudio existen parámetros que no cumplen con lo estipulado en el manual de diseño geométrico de carreteras DG-2018, por lo que recomienda mejorar y complementar con dispositivos de control que generen una mejor seguridad vial. (Quiroz, 2020).

El tesista en la investigación “Seguridad vial en la carretera Celendin – José Galvez considerando las características geométricas, en base a la norma de diseño geométrico DG-2018” determina el nivel de seguridad con el que cuenta la carretera entre Celendín y José Gálvez de la región de Cajamarca, considerando sus parámetros geométricos, realizando inventarios viales para finalmente realizar una contrastación con lo dispuesto en la DG-2018 y el manual de seguridad vial (2017) concluyendo así que la vía es insegura. (Moscol, 2021).



En la tesis “Estudio comparativo de las características geométricas y señalización vial de la carretera Cajamarca – Otuzco con las normas DG-2018” el autor analiza una carretera de 6.788Km en planta, perfil, sección transversal y señalización vial; para lo cual realiza la recolección de datos usando técnicas de observación, el trabajo de gabinete lo realiza con el software AutoCAD Civil 3D 2018 concluyendo al final que la carretera no cumple con los parámetros de diseño geométrico según DG-2018. (Cercado, 2021).

En la tesis “Evaluación de los parámetros del diseño geométrico de la carretera Huaraz - Santo Toribio (L=16 Km) con el manual de diseño geométrico 2018, año 2020” el investigador evalúa los parámetros geométricos de una carretera de 16 Km concluyendo que no cumplieron la DG-2018. (Alvaron, 2022).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Carreteras

Las carreteras son rutas terrestres diseñadas exclusivamente para vehículos. Estas infraestructuras, construidas por el ser humano, facilitan la movilidad terrestre, conectando pueblos y comunidades. Esto promueve el desarrollo y el intercambio cultural, económico y social, permitiendo un mejor aprovechamiento y control del entorno físico, natural y de sus recursos, así como de las comunicaciones. (Ibañez, 2024).

2.2.2. Diseño geométrico de carreteras.

Según Choconta (2008) el diseño de geometría de la vía se refiere al proceso de relacionar los parámetros físicos de una carretera con las condiciones operativas de los vehículos y las características del terreno., estos parámetros físicos son representados por su geometría, como alineaciones horizontales y



verticales, secciones transversales, distancias de visibilidad, etc. Como señala el autor, para el diseño geométrico de una vía, concretamente de una carretera, se necesita principalmente determinar la posible relación entre la vía potencial, el vehículo y el conductor, elementos que intervienen en las operaciones de transporte; de esta manera al conectar una vía a un vehículo, se debe tener en cuenta su diseño y características operativas; sus dimensiones deben ser tenidas en cuenta para asegurar que el camino lo acomodará bien en todas las direcciones, así como sus especificaciones operativas y en particular la velocidad que puede alcanzar, para una mejor adaptación del camino a las diversas condiciones de operación que los vehículos encontrarán durante el viaje. Del mismo modo, agrega el autor, dicho diseño debe realizarse bajo el costo más mínimo sin que ello signifique que en el camino quede obsoleto prematuramente, y sea necesario reconstruirlo antes del tiempo esperado; de modo que el costo del mantenimiento necesario dentro de su vida útil no se requiera más de lo normal; en otras palabras, la suma de los costos de construcción, operación y mantenimiento debe ser lo más baja posible.

De acuerdo a Cespedes (2001) la geometría de una carretera consiste en relacionar sus componente físicos, como alineamientos, pendientes, distancias de visibilidad, peralte y ancho de carril, con aspectos operativos, como la capacidad de frenado, aceleración, condiciones de seguridad, entre otros.

2.2.3. Manual de carreteras diseño geométrico DG-2018.

Tal como lo señala la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (DGCF, 2018), el manual forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado en el DS

No. 034-2008-MTC, con carácter normativo, administrado a nivel nacional y aplicado por los organismos responsables de la gestión de la infraestructura vial en los tres niveles de gobierno: nacional, regional y local.

2.2.4. Clasificación de las carreteras

2.2.4.1. Clasificación por demanda.

Según la DGCF (2018) estas son las siguientes clasificaciones en función a la demanda:

Figura 1

Clasificación por demanda



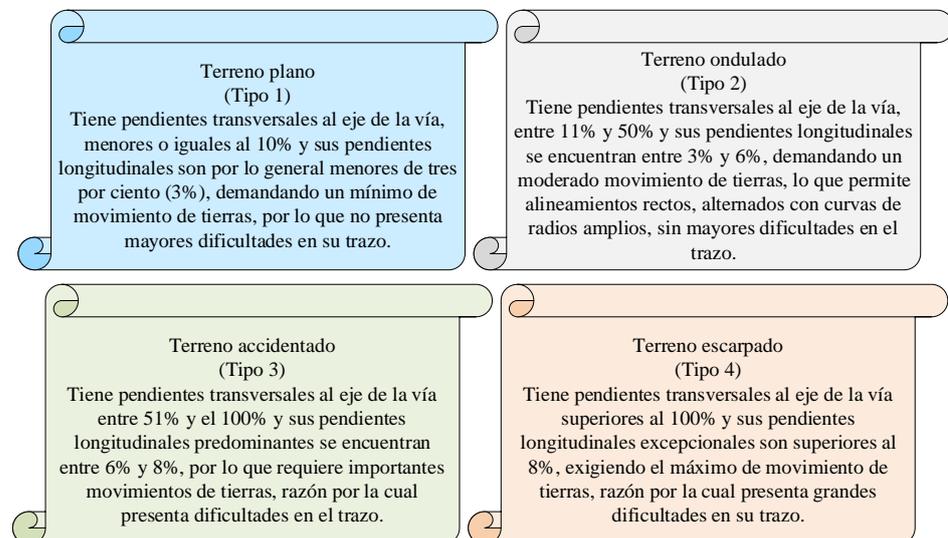
Nota: Clasificación de carreteras por demandas. Adaptado de “Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” por Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018, p.12.

2.2.4.2. Clasificación por orografía.

Tal como indica la DGCF (2018), en función a la orografía predominante en el Perú se clasifica de la siguiente manera:

Figura 2

Clasificación de carreteras por orografía



Nota: Clasificación de carreteras por orografía. Adaptado de “Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018” por Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018, p.14.

2.2.5. Vehículo de diseño.

2.2.5.1. Definición.

El diseño de la geometría vial, tal como lo indica el Manual de carreteras de la DGCF (2018) se hará de acuerdo al tipo de vehículo, dimensiones, peso y otros parámetros contemplados en las normas vigentes; un elemento clave para ello son las características físicas y proporciones de vehículos de diferentes tamaños que circulan por la vía,

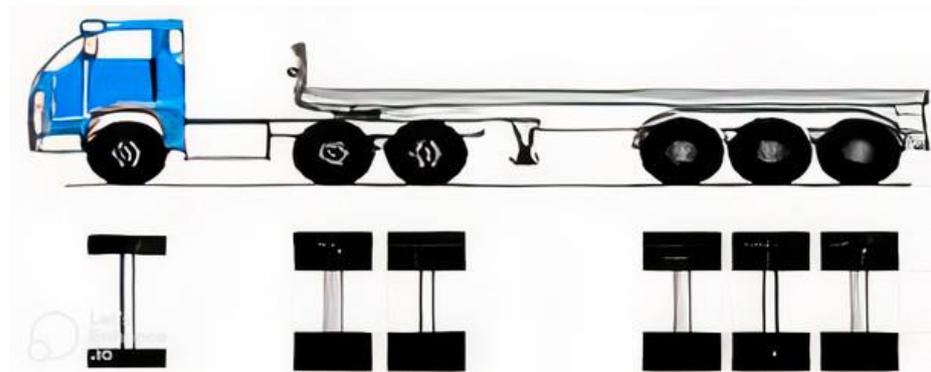
de donde se desprende la importancia de verificar todo tipo de vehículos, crear grupos y seleccionar según un tamaño representativo; estos vehículos, con su peso, dimensiones y características operativas específicas, son utilizados para definir los criterios de diseño de los proyectos viales lo cual se denominan vehículos de diseño.

2.2.5.2. Vehículo T3S3.

Este tipo de vehículo de carga articulado consta de un tractocamión de 3 ejes con un semirremolque de 3 ejes. (Güemez, 2013).

Figura 3

Vehículo T3S3



Nota: Vehículo articulado T3S3. Adaptado del “Reglamento nacional de vehículos: DS N° 058-2003-MTC” por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003.

2.2.6. Índice medio diario anual (IMDA).

Según Choconta (2008) el tránsito promedio diario, representa el tráfico vehicular total que circula por la vía durante un año dividido por 365.

Según el manual de carreteras de la DGCF (2018) el Índice Medio Diario Anual “representa la media aritmética de los volúmenes de tráfico diario para todos los días del año, ya sea previsible o existente en una sección de vía; este



indicador proporciona información cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar cálculos de viabilidad económica” (p.92). Los valores de IMDA permite al diseñador conocer lo indispensable para determinar los parámetros de diseño de la carretera, su clasificación y elaborar planes de mejora y mantenimiento.

“Una vía debe ser planificada para manejar el tráfico esperado durante toda su vida útil, se utiliza como base para el diseño un periodo de 20 años”. (MTC, 2018, p. 95).

La proyección de la demanda de tránsito se calcula con la siguiente fórmula: (MTC, 2018).

$$P_f = P_o (1 + T_c)^n \dots\dots \text{Fórmula 1}$$

Donde:

- P_f : Tránsito final
- P_o : Tránsito inicial
- T_c : Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo.
- n : año a estimarse

2.2.7. Velocidad de diseño.

Según se expresa en el manual de carreteras de la DGCF (2018) “es la velocidad elegida para el diseño, sabiendo que será la máxima alcanzable que se mantiene de forma segura y cómoda en una determinada sección de la carretera” (p.96); el manual también menciona que para determinar la velocidad de diseño se debe dar como máxima prioridad la seguridad vial de los usuarios y el diseño

debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por variaciones bruscas y muy frecuentes en la velocidad a la que puede circular por la carretera.

A lo largo del trazo se debe identificar tramos homogéneos a los que por características topográficas se les pueda asignar una misma velocidad; esta velocidad se denomina velocidad de diseño del tramo homogéneo con la cual se definirán los elementos geométricos en dicho tramo. (DGCF, 2018).

En la Figura 4 se describe los rangos de velocidad de diseño en función de clasificación de la carretera por demanda y orografía.

Figura 4

Rango de velocidad de diseño

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

Nota: Rango de la velocidad de diseño en función a la clasificación por demanda y por orografía. (MTC, 2018, p. 97).



2.2.8. Visibilidad en carreteras.

Según Cardenas (2013) “la distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella” (p. 358).

Por otro lado Choconta (2008) indica que la distancia de visibilidad es la distancia que un conductor puede ver en una carretera bajo condiciones específicas.

Para Céspedes (2001) en las carreteras, es esencial que haya una visibilidad adecuada tanto en planta como en perfil, para que el conductor pueda ver la distancia mínima necesaria delante de él y así tomar decisiones oportunas con garantía.

También de acuerdo a normativa la DGCF (2018) define a la distancia de visibilidad como la longitud continua de la carretera que el conductor del vehículo puede ver hacia adelante, permitiéndole ejecutar con seguridad las diversas maniobras necesarias o decididas.

2.2.8.1. Distancia de visibilidad de parada.

De acuerdo a normativa de la DGCF (2018) la distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima necesaria para que un vehículo que circula a la velocidad de diseño se detenga antes de alcanzar un objeto inmóvil en su camino.

De acuerdo a la normativa DGCF (2018), se puede calcular con la siguiente fórmula:



$$D_p = \underbrace{0.278 \cdot V \cdot t_p}_{\text{Distancia de percepción reacción}} + \underbrace{\frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm i \right)}}_{\text{Distancia de frenado}} \dots \text{Fórmula 2}$$

Donde:

- D_p : Distancia de parada (m)
- V : Velocidad de diseño (Km/h)
- t_p : Tiempo de percepción + reacción (s), (AASHTO recomienda 2.5 seg.)
- a : Desaceleración en m/s^2 (AASHTO recomienda $3.4 m/s^2$)
- i : Pendiente longitudinal (tanto por uno, + en subidas y – en bajadas)

2.2.8.2. Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento.

Es la distancia mínima necesaria para que un conductor pueda adelantar a otro vehículo que viaja a menor velocidad, de forma cómoda y segura, sin interferir con la velocidad de un tercer vehículo que se aproxima en sentido contrario y que se hace visible durante la maniobra de adelantamiento. (MTC, 2018).

2.2.9. Diseño geométrico en planta.

El diseño geométrico en planta de una carretera, también conocido como alineamiento horizontal, es la representación en un plano horizontal de su eje real o espacial. Este eje horizontal se compone de una serie de segmentos rectos

llamados tangentes, que están conectados entre sí mediante curvas. (Cardenas, 2013).

Para ángulos de deflexión Δ pequeños, de 5° o menos, los radios deben ser lo suficientemente grandes para asegurar una longitud mínima de curva L calculada con la fórmula siguiente: $L > 30(10 - \Delta)$, $\Delta < 5^\circ$ en donde el valor mínimo de L es de acuerdo a la siguiente figura: (MTC, 2018).

Figura 5

Longitud mínima de curva L.

Carretera red nacional	L(m)
Autopistas	6V
Carretera de dos carriles	3V

Nota: Longitud mínima de curva L para ángulos de deflexión menor a 5° . (MTC, 2018, p. 125).

No es preciso incluir una curva horizontal en ángulos de deflexión pequeños. La siguiente figura presenta los valores máximos que no requieren una curva horizontal. (MTC, 2018).

Figura 6

Valores de ángulos de deflexión que pueden prescindir de una curva horizontal.

Velocidad de diseño Km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	$2^\circ 30'$
40	$2^\circ 15'$
50	$1^\circ 50'$
60	$1^\circ 30'$
70	$1^\circ 20'$
80	$1^\circ 10'$

Nota: Valores de ángulos de deflexión que pueden prescindir de una curva horizontal. (MTC, 2018, p. 126)



2.2.9.1. Tramos en tangente.

Se define que:

La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes largas son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor mantener concentrado su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, o bien, porque favorecen los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio. (Navarro, 2017, p. 57).

Por otro lado, de acuerdo a la normativa peruana DG-2018 de la DGCF (2018) indica que:

Las longitudes mínimas y máximas deseables para los tramos en tangente, según la velocidad de diseño, se determinan mediante las siguientes fórmulas:

$$L_{\min.s} : 1.39V \dots \text{Fórmula 3}$$

$$L_{\min.o} : 2.78V \dots \text{Fórmula 4}$$

$$L_{\max} : 16.70V \dots \text{Fórmula 5}$$

Donde:

- $L_{\min.s}$: Longitud mínima (m) para trazados en “S” (Segmento recto entre alineaciones con radios de curvatura opuestos).



- $L_{min.o}$: Longitud mínima (m) para el resto de casos (Segmento recto entre alineaciones con radios de curvatura en la misma dirección).
- L_{max} : Longitud máxima recomendada (m)
- V : Velocidad de diseño (Km/h) (p. 127).

Analizando la fórmula (3) se puede apreciar que la normativa peruana considera que la longitud mínima de una tangente para trazados en “S” es la distancia recorrida a una velocidad de diseño por un tiempo de 5 segundos como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L_{min.s} : V \left(\frac{Km}{h} \right) \left(\frac{1000m}{1Km} \right) \times 5s \left(\frac{1h}{3600s} \right)$$

$$L_{min.s} : V \left(\frac{1000m}{1} \right) \times \left(\frac{5}{3600} \right)$$

$$L_{min.s} : V(1.39)$$

Siguiendo la misma metodología la longitud mínima de una tangente para un alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura en la misma dirección, es la distancia recorrida a una velocidad de diseño por un tiempo de 10 segundos y la longitud máxima deseable de una tangente es la distancia recorrida a una velocidad de diseño por un tiempo de 60 segundos.

Un segmento en tangente se define como la distancia horizontal entre los puntos medios de las espirales de las curvas al inicio y al final del segmento en caso de que sean espiralizadas, o entre el PT y el PC de las curvas si son circulares. (MTC, 2018).

2.2.9.2. Curva circular simple.

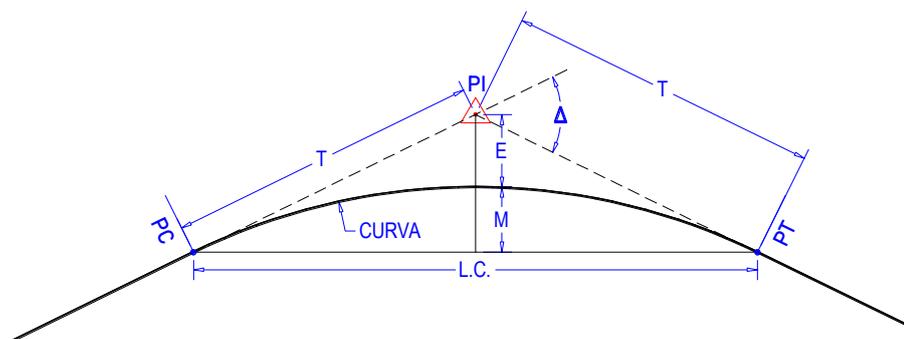
La normativa peruana define que “las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales” (DGCF, 2018, p. 127).

Una curva circular es un parte de una circunferencia tangente a dos línea rectas de la vía y se define por su radio, que se define de acuerdo a los criterios indicados del manual de carreteras DG-2018 (Choconta, 2008).

Los elementos geométricos que caracterizan una curva simple se aprecian en la Figura 7.

Figura 7

Simbología de la curva circular



Nota: Elementos y nomenclaturas de la curva horizontal circular. (MTC, 2018, p. 128)

Donde:

- PC: Inicio de la curva (Tangente al alineamiento).
- PI: Punto de intersección de 2 alineamientos.
- PT: Fin de la curva (Tangente al alineamiento).



- E: Longitud de la externa.
- M: Longitud de la ordenada media.
- R: Medida del radio de la curva.
- T: Longitud de la subtangente (PC a PI y PI a PT).
- L: Longitud de la curva.
- LC: Distancia de la cuerda.
- Δ : Ángulo de deflexión.

2.2.9.2.1. Expresiones que relacionan los elementos geométricos de la curva circular simple.

- Longitud de la subtangente.

$$T = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \dots \text{Fórmula 6}$$

- Longitud de la cuerda.

$$LC = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \dots \text{Fórmula 7}$$

- Longitud de la curva.

$$L = \Delta \cdot R \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right) \dots \text{Fórmula 8}$$

- Distancia a Externa.

$$E = R \cdot \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right) \dots \text{Fórmula 9}$$

- Distancia de la ordenada media.

$$M = R \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) \dots \text{Fórmula 10}$$

2.2.9.2.2. Radio mínimo en curvas circulares.

Son los radios mínimos que se pueden recorrer a la velocidad de diseño y con el peralte máximo, garantizando condiciones aceptables de comodidad y seguridad. (MTC, 2018); se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(p_{\max} + f_{\max})} \dots \text{Fórmula 11}$$

Donde:

- Rmin: Radio mínimo.
- V: Velocidad de diseño.
- p_{max}: Peralte máximo para V (en tanto por uno).
- f_{max}: Coeficiente de fricción transversal máximo relacionado a V.

Tabla 1

Fricción transversal máxima en curvas.

Velocidad de diseño (Km/h)	f _{máx}
<=30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15
70	0.14
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.11
120	0.09



Velocidad de diseño (Km/h)	f _{máx}
130	0.08

Nota: Valor de la fricción transversal máxima en curvas. (MTC, 2018, p. 132)

En general, es preferible evitar el uso de curvas con radio mínimo. En vez de eso, se sugiere emplear curvas con radios más amplios, reservando los radios mínimos únicamente para situaciones críticas.

2.2.9.3. Curva de transición.

“Todo vehículo automotor sigue una trayectoria de transición a medida que entra o sale de una curva horizontal circular. El cambio de sentido y la consecuente ganancia o pérdida de la fuerza lateral no se puede conseguir instantáneamente”. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, p. 3-68).

De acuerdo a Choconta (2008), se llama curva de transición porque brindan un cambio gradual en la curvatura de la vía, desde un tramo recto con radio infinito hasta una curvatura con un grado determinado, la transición también puede ser en forma inversa.

El reglamento peruano define a la curva de transición como “espirales que tienen por objeto evitar las discontinuidades en la curvatura del trazo” (DGCF, 2018, p.138).

El tipo de curva de transición ó de espiral que recomienda el reglamento peruano es la clotoide cuya ecuación esta dada por:

$$RL = A^2 \dots \text{Fórmula 12}$$

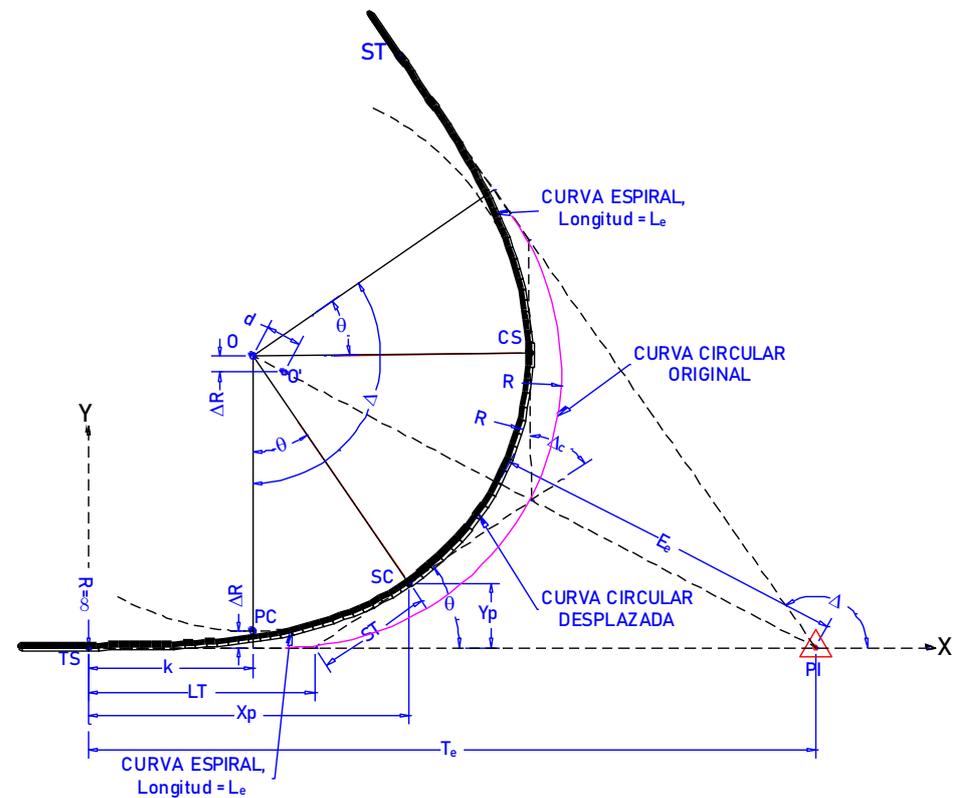
Donde:

- R: Radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L: Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R=\infty$) y el punto de radio R.
- A: Parámetro de la clotoide.

Los elementos geométricos que caracterizan a una curva de transición se muestran en la Figura 8.

Figura 8

Elementos geométricos de la curva espiral - circular - espiral.



Nota: Elementos y nomenclaturas de la curva de transición simétrica espiral-circular-espiral. (Cardenas, 2013, p. 243).

Donde:

- TS: Tangente - Espiral.
- SC: Espiral - Circular.
- CS: Circular - Espiral.



- ST: Espiral – Tangente.
- O': Centro de la curva circular original (Elemento sin transiciones).
- O: Nuevo centro de la curva circular (Elemento con transiciones).
- T_e : Tangente principal de la curva circular con espirales.
- E_e : Externa de la curva espiral – circular – espiral.
- Δ : Ángulo de deflexión entre las tangentes principales.
- Δ_c : Ángulo central de la curva circular desplazada
- θ : Ángulo de deflexión entre la tangente a la espiral en el TS y la tangente en el SC.
- R: Radio de la curva circular.
- LT: Long Tangent, que es la tangente larga de la espiral.
- ST: Short Tangent, que es la tangente corta de la espiral.
- L_e : Longitud total de la espiral, es la distancia de TS a SC ó CS a ST.
- ΔR : Desplazamiento de la curva circular enlazada, distancia entre la tangente a la prolongación de la curva circular desplazada al PC y la tangente principal. (Disloque de la espiral).
- d: Desplazamiento del centro de las curvas circulares, el valor de la distancia desde O hasta O'.
- X_p : Coordenada cartesiana del eje X del punto SC, respecto al origen de la clotoide.
- Y_p : Coordenada cartesiana del eje Y del punto SC, respecto al origen de la clotoide.



- k: Distancia a lo largo de la tangente principal, desde el inicio TS hasta el PC desplazado. (Distancia de la abscisa media).

2.2.9.3.1. Expresiones que relacionan los elementos geométricos de la curva de transición.

- Ángulo de deflexión entre la tangente en TS y tangente en SC.

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{L^2}{A^2}; \theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{R}; \theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{A^2}{R^2}; \theta \text{ en radianes}; \dots \text{ F\acute{o}rmula 13}$$

- Coordenada cartesiana del eje X del punto SC.

$$X_p = L_e \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \frac{\theta^8}{685440} - \dots \right) \dots \text{ F\acute{o}rmula 14}$$

- Coordenada cartesiana del eje Y del punto SC.

$$Y_p = L_e \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \frac{\theta^7}{75600} + \dots \right) \dots \text{ F\acute{o}rmula 15}$$

- Ángulo central de la curva circular desplazada.

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta \dots \text{ F\acute{o}rmula 16}$$

- Tangente larga.

$$LT = X_p - \frac{Y_p}{\tan \theta} \dots \text{ F\acute{o}rmula 17}$$

- Tangente corta.

$$ST = \frac{Y_p}{\text{sen} \theta} \dots \text{ F\acute{o}rmula 18}$$

- Disloque de la espiral.

$$\Delta R = Y_p + R(\cos \theta - 1) \dots \text{ F\acute{o}rmula 19}$$

- Distancia de la abscisa media.

$$k = X_p - R \text{sen} \theta \dots \text{ F\acute{o}rmula 20}$$



- Tangente de la curva espiral – circular – espiral.

$$T_e = k + (R + \Delta R) \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \dots \text{Fórmula 21}$$

- Externa de la curva espiral – circular – espiral.

$$E_e = \frac{R + \Delta R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - R \dots \text{Fórmula 22}$$

2.2.9.3.2. Ventajas de la curva de transición.

Una curva de transición correctamente diseñada brinda a los conductores un recorrido fácil de seguir, tal que los aumentos de fuerza lateral se disipan gradualmente a medida que un vehículo entra y sale de una curva circular. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

La longitud de la curva de transición es la ideal para poder desarrollar el peralte. La transición del peralte que pasa de una sección transversal en tangente a una sección transversal peraltada en curva se puede obtener a lo largo de la curva de transición (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

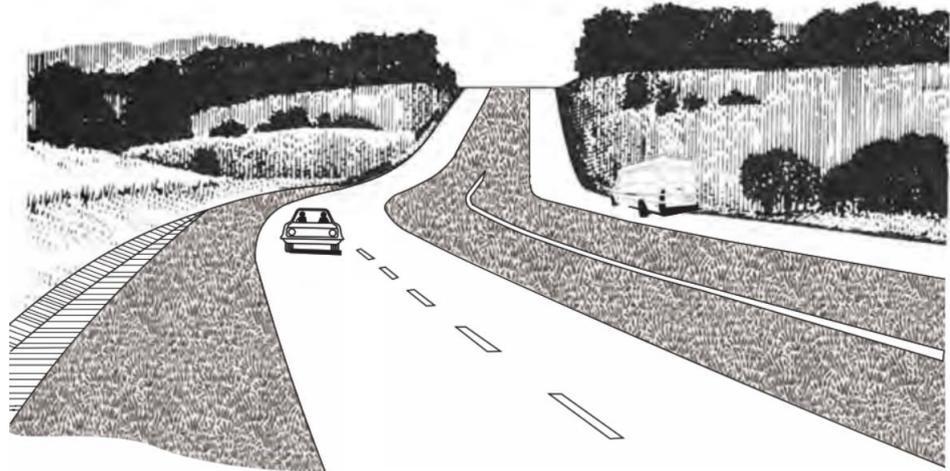
La curva de transición también facilita la transición del sobreelevamiento que se encuentra en la curva circular. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

La apariencia de la carretera mejora con la aplicación de curvas espirales de transición, las cuales evitan visibles cambios bruscos en el alineamiento según la percepción de los conductores al principio y final de

las curvas circulares. En la Figura 9 y 10 se aprecia una curva sin transición espiral y con transición espiral.

Figura 9

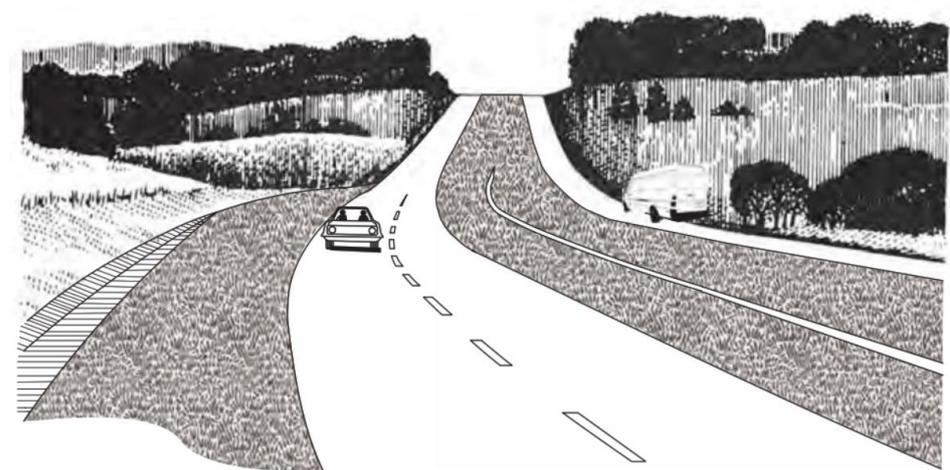
Curva sin transición espiral



Nota: Vista de una curva sin espiral de transición. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, pp. 3-69).

Figura 10

Curva con transición espiral



Nota: Vista de una curva con espiral de transición. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, pp. 3.-69).

2.2.9.3.3. Longitud mínima de la curva de transición.

Se determina con la siguiente fórmula: (MTC, 2018).

$$L_{\min} = \frac{V}{46.656j} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27p \right] \dots \text{Fórmula 23}$$

Donde:

- V: Velocidad de diseño (Km/h).
- R: Radio de la curva (m).
- j: Variación de la aceleración centrífuga por unidad de tiempo. (m/s³).
- p: peralte correspondiente a V y R en (%).

Los valores de J son de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 11

Valores del coeficiente J

V (Km/h)	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s ³)	0.5	0.4	0.4	0.4
J _{max} (m/s ³)	0.7	0.8	0.5	0.4

Nota: Valor de la variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo. (MTC, 2018, p. 139).

La longitud mínima de la curva de transición es de 30m, además se puede prescindir de la curva de transición de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 12

Radios circulares límites que permiten evitar el uso de transición

V (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R(m)	80	150	225	325	450	600	750	900	1200	1500	1800



Nota: Valor de los radios circulares que permiten prescindir de la curva de transición. (MTC, 2018, p. 146).

2.2.9.3.4. Criterio por estética y guiado óptico para curvas espirales.

Para que un conductor perciba fácilmente la presencia de una curva de transición, se debe asegurar que: (MTC, 2018).

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \dots \text{Fórmula 24}$$

2.2.9.4. Curvas de vuelta.

En un terreno accidentado el trazo geométrico de la carretera requiere un tipo característico de curva llamado curvas de vuelta o volteo cuyo uso se realiza en las faldas de las laderas. Se debe procurar que las curvas de vuelta se realicen en mesetas o zonas planas con el objeto de evitar dificultades en el movimiento de tierras y altos costos de construcción (Cespedes, 2001).

Según la DGCF (2018) en el manual de diseño geométrico DG-2018 define a las curvas de vuelta a aquellas que se proyectan sobre una ladera, en terrenos accidentados, con el objetivo de lograr una mayor cota y cumpliendo los valores de pendiente máxima que no sería posible lograrlo mediante trazos alternativos.

2.2.9.5. Sobreancho.

Cuando un vehículo circula por una curva horizontal el ancho de la calzada es mayor a uno en tangente; ya que por las características propias del vehículo las llantas traseras tienen un recorrido distinto a las llantas



delanteras, este efecto se manifiesta más en curvas de radios pequeños. (Cardenas, 2013).

Así mismo el MTC (2018), en el manual de carreteras indica que es el incremento en el ancho de la calzada en las secciones curvas de la vía, destinado a compensar el espacio adicional que necesitan los vehículos al tomar la curva.

Por otro lado Cespedes (2001) indica que la posición relativa de las ruedas traseras del vehículo en una curva está influenciada por la velocidad y la fricción que se genera para contrarrestar la fuerza centrífuga que no es compensada por el peralte.

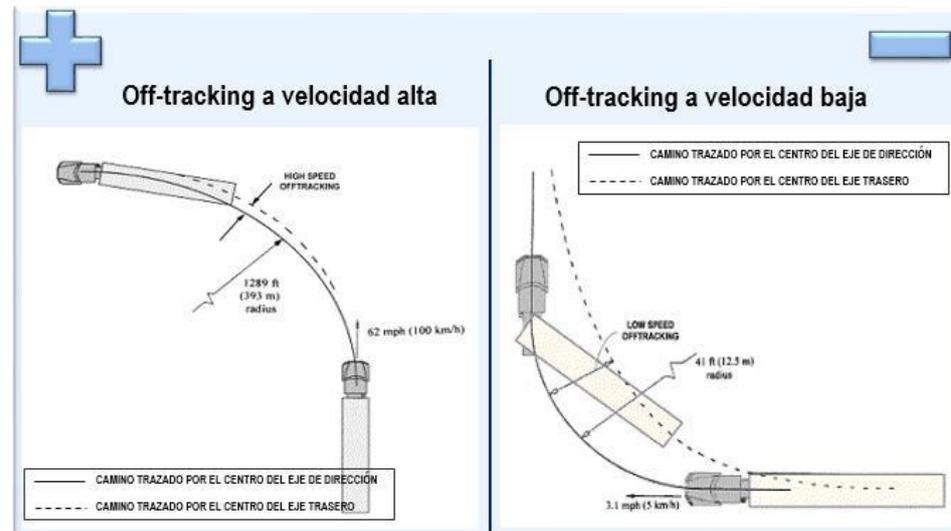
Asimismo también indica que cuando el vehículo toma una curva a la velocidad de equilibrio, no se genera fricción lateral. En este caso, las ruedas traseras permanecen desplazadas hacia el interior en comparación con las ruedas delanteras.

De igual forma indica que en caso se incremente la velocidad, la fricción comienza a actuar para absorber la fuerza centrífuga que no es contrarrestada por el peralte. En este caso, las ruedas traseras se desplazan hacia fuera de la trayectoria de las ruedas delanteras para formar el ángulo de esviaje necesario para generar dicha fricción. A medida que la velocidad sigue aumentando, el desplazamiento hacia fuera se vuelve más pronunciado.

Finalmente AASHTO (2011) establece que “A velocidades más altas, las trayectorias de las ruedas traseras pueden incluso ser exteriores a las de las ruedas delanteras”. (p. 3-85).

Figura 13

Sobreancho generado a alta y baja velocidad



Nota: Representación gráfica del sobreancho generado a alta y baja velocidad. Adaptado de “Propuesta de diseño de ancho y sobre ancho de curva de volteo para un semi trailer en la carretera de Canta” por (Saavedra, 2021, p. 46).

En curvas de radios pequeños y medianos, es necesario ampliar la carretera para asegurar espacios libres adecuados (holguras), según el tipo de vehículos que la transiten regularmente. Esto es crucial tanto para los vehículos que se cruzan en vías bidireccionales como para los que adelantan en vías unidireccionales, también ayuda a mantener una distancia segura entre los vehículos y los bordes de la calzada. El ensanchamiento necesario corresponde al aumento del espacio transversal requerido por los vehículos al tomar las curvas, más las holguras teóricas adoptadas. (MTC, 2018).

Figura 14

Holguras teóricas para vehículos comerciales de 2.60m de ancho.

Calzada de 7.20m		Calzada de 6.00m	
En Recta	En curva ensanchada	En recta	En curva ensanchada
h_1 0.5m	0.6 m	0.3 m	0.45 m
h_2 0.4m	0.4 m	0.1 m	0.05 m
$h_{2\text{ ext}}$ 0.4m	0.0 m	0.1 m	0.00 m

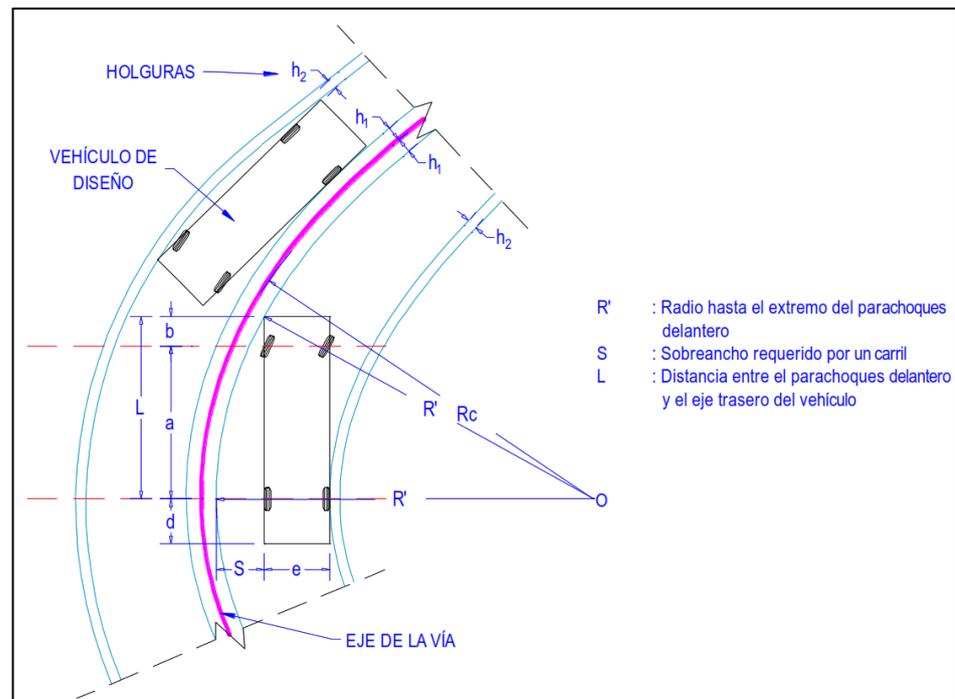
Nota: el $h_{2\text{ ext}}$ es el espacio libre entre el borde exterior de la calzada y el borde del parachoque delantero, en curva es 0 y en rectas es igual a h_2 . (MTC, 2018, p. 159).

2.2.9.5.1. Sobrecancho de vehículos rígidos (DG-2018).

De acuerdo al reglamento peruano de la DGCF (2018), el valor del sobrecancho para vehículo rígidos se puede calcular a partir de la siguiente figura:

Figura 15

Sobrecancho en vehículos rígidos



Nota: Representación gráfica del sobrecancho en vehículos rígidos. (MTC, 2018, p. 160).



Del gráfico anterior, se puede deducir lo siguiente:

$$(R' - S)^2 + L^2 = R'^2$$

$$S = R' - \sqrt{R'^2 - L^2}$$

Según la DGCF (2018) el valor de R' se asume igual que R_c ,
obteniendo la siguiente fórmula:

$$S_a = n \underbrace{\left(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2} \right)}_{\text{Depende la geometría}} + \underbrace{\frac{V}{10\sqrt{R_c}}}_{\text{Asignación de anchura extra (Z)}} \dots \text{Fórmula 25}$$

Donde:

- S_a : Sobreecho (m) (El valor mínimo es de 0.40m)
- n : Número de carriles
- R_c : Radio de curvatura circular (m)
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V : Velocidad de diseño (Km/h)

El segundo factor de la fórmula 25 del sobreecho consiste en agregar una anchura radial adicional al pavimento para facilitar la maniobra en una curva y compensar las variaciones en la conducción. Esta anchura adicional debe considerarse distribuida a lo largo de todo el ancho de la calzada y no individualmente en cada carril. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).



El valor del sobreebanco que se debe considerar como mínimo es de 40cm. (MTC, 2018).

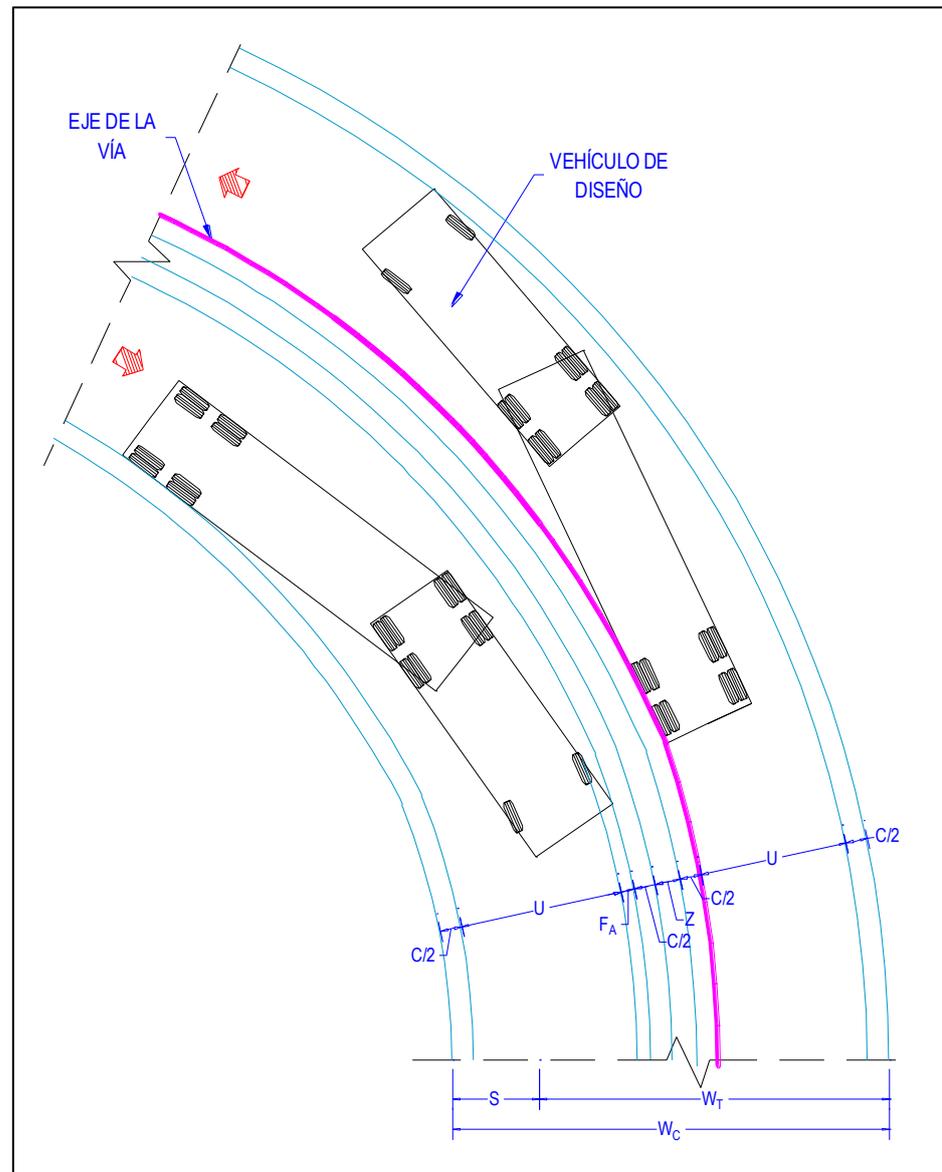
2.2.9.5.2. Sobreebanco de vehículos articulados (AASHTO 2011).

En cuanto a vehículos articulados las fórmulas del método AASHTO calculan valores de sobreebanco similares a los simulados por un software de trayectoria de recorrido (Puerto Higuera y Vargas Vargas, 2020).

Se debe precisar también que esta fórmula también es válida para vehículos rígidos.

Figura 16

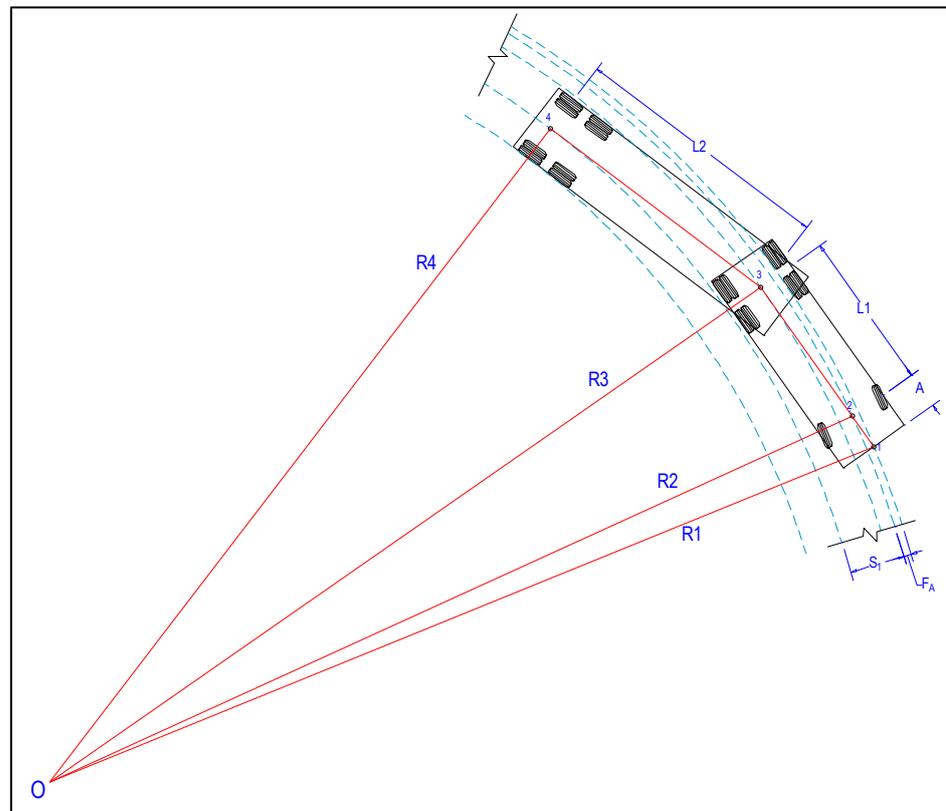
Sobrecancho en vehículos articulados



Nota: Representación gráfica del sobrecancho en vehículos articulados. Adaptado de “Diseño Geométrico de Carreteras” por J. Cárdenas, 2013, p.414.

Figura 17

Trayectoria de giro de vehículo semirremolque.



Nota: Sobreebanco en la curva para un vehículo articulado. Adaptado de “Normas de diseño geométrico de caminos rurales” por (Rühle, 1967, p. 35).

La expresión recomendada por la AASHTO (2011), es la siguiente:

$$S = W_C - W_T \dots \text{Fórmula 26}$$

Donde:

- S: Sobreebanco (m).
- W_C : Ancho de la calzada en curva (m).
- W_T : Ancho de la calzada en tramo recto (m).

$$W_C = n(U + C) + (n - 1)F_A + Z \dots \text{Fórmula 27}$$

Donde:

- n: Número de carriles de la calzada.
- U: Ancho ocupado por el vehículo cuando describe la trayectoria en la curva (m).
- C: Espacio lateral de seguridad que requiere cada vehículo (m).

La asignación de separación lateral (C) proporciona un espacio libre entre el borde de la calzada y la trayectoria de la rueda más cercana, así como para la separación de las carrocerías de los vehículos que se cruzan o pasan. La separación lateral por vehículo depende del ancho de carril en tangente. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

Tabla 2

Valor de C de acuerdo al ancho de carril.

Ancho de carril en tangente (m)	Espacio lateral C (m)
6.0	0.60
6.6	0.75
7.2	0.90

Nota: Valores del espacio lateral C que están en función al ancho del carril en tangente. Adaptado de “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” por AASHTO, 2011, p. 3-86.

De la figura 17 se puede apreciar que:

$$R_3^2 + L_1^2 = R_2^2,$$

R_2 se considera como radio de la curva.

$$R_3 = \sqrt{R_c^2 - L_1^2} \dots \dots \text{Fórmula 28}$$



Procedemos a calcular el valor de R_4 .

$$R_4^2 + L_2^2 = R_3^2$$

$$R_4 = \sqrt{R_3^2 - L_2^2} \dots\dots \text{Fórmula 29}$$

Reemplazando la ecuación (28) en (29).

$$R_4 = \sqrt{R_c^2 - L_1^2 - L_2^2}$$

$$R_4 = \sqrt{R_c^2 - (L_1^2 + L_2^2)} \dots\dots \text{Fórmula 30}$$

Entonces la cantidad de desviación de la huella es la siguiente:

$$S_1 = R_c - R_4 \dots\dots \text{Fórmula 31}$$

$$S_1 = R_c - \sqrt{R_c^2 - \sum L_i^2} \dots\dots \text{Fórmula 32}$$

Las distancias entre ejes (L_i) utilizadas en los cálculos abarcan las distancias entre cada eje y el punto de articulación del vehículo. En el caso de un vehículo rígido, solo se toma en cuenta la distancia entre el eje delantero y las ruedas motrices. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

El ancho de huella (U) de un vehículo al tomar una curva o girar, también llamado ancho de trayectoria barrida, es la suma del ancho de la huella en línea recta (u) y la cantidad de desviación de la huella. Esta desviación depende del radio de la curva o giro, del número y posición de los puntos de articulación, y de las distancias entre los ejes de las ruedas.



(American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

Esta ecuación es aplicable a cualquier combinación de radio, número de ejes y distancia entre ejes. En las curvas de camino abierto, el radio corresponde a la trayectoria del punto medio del eje delantero. No obstante, para la mayoría de los diseños de caminos de dos carriles, se puede usar el radio de la curva en la línea central del camino para simplificar los cálculos. En el caso de las plataformas de giro, el radio se refiere a la trayectoria de la rueda delantera exterior.

$$U = u + S_1 \dots \dots \text{Fórmula 33}$$

Reemplazando la ecuación (32) en (33) se obtiene:

$$U = u + R_c - \sqrt{R_c^2 - \sum L_i^2} \dots \dots \text{Fórmula 34}$$

Donde:

- u : Ancho del vehículo en tangente (m).
- R_c : Radio de la curva (m).
- L_1, L_2 : Dimensiones del vehículo (m).

También de la figura 17 se tiene:

$$R_1^2 = R_c^2 + (L_1 + A)^2 \dots \dots \text{Fórmula 35}$$

Reemplazando la ecuación (28) en (35) se tiene:

$$R_1^2 = R_c^2 - L_1^2 + (L_1 + A)^2$$



$$R_1^2 = R_c^2 - L_1^2 + L_1^2 + 2AL_1 + A^2$$

$$R_1^2 = R_c^2 + 2AL_1 + A^2$$

$$R_1 = \sqrt{R_c^2 + A(2L_1 + A)} \dots \text{Fórmula 36}$$

La anchura del voladizo o saliente frontal (F_A) es la distancia radial entre el borde exterior de la trayectoria del neumático de la rueda delantera exterior y la trayectoria del borde frontal exterior de la carrocería del vehículo. En curvas y plataformas de giro, F_A depende del radio de la curva, de la longitud del voladizo frontal del vehículo de diseño y de la distancia entre ejes de la unidad. Para combinación tractor – remolque, solo se considera la distancia entre ejes del vehículo tractor. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

De la figura 17:

$$F_A = R_1 - R_c \dots \text{Fórmula 37}$$

Reemplazando la ecuación (36) en (37) se obtiene:

$$F_A = \sqrt{R_c^2 + A(2L_1 + A)} - R_c \dots \text{Fórmula 38}$$

Donde:

- F_A : Diferencia radial entre la trayectoria de la esquina exterior del vuelo delantero y la trayectoria de la rueda exterior delantera.
- R_c : Radio de la curva (m).
- A : Valor de voladizo o saliente delantero del vehículo (m).
- L_1 : Distancia entre el eje delantero y trasero de la unidad (m).



$$Z = 0.1 \left(\frac{V_{CH}}{\sqrt{R_c}} \right) \dots \text{Fórmula 39}$$

Donde:

- Z: Sobreancho adicional de seguridad.
- V_{CH} : Velocidad específica de la curva (Km/h).
- R_c : Radio de la curva (m).

2.2.9.5.3. Desarrollo del sobreancho.

Para curvas circulares simples, el sobreancho se distribuye de forma lineal a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud que la transición del peralte. En curvas con espiral de transición, el sobreancho también se desarrolla linealmente a lo largo de la longitud de la curva espiral. (MTC, 2018).

Para determinar la transición del sobreancho, se utilizará la siguiente expresión:

$$Sa_n = \frac{Sa}{L} l_n ; L \leq 40m$$

Dónde:

- Sa_n : Sobreancho adicional situado a l_n metros desde el origen.
- L: Longitud de desarrollo del sobreancho.
- l_n : Distancia en cualquier punto de la curva, medida desde su inicio.



2.2.10. Diseño geométrico en perfil.

El diseño geométrico en perfil se compone de una serie de rectas unidas por curvas verticales parabólicas. (MTC, 2018).

Las rectas en un diseño en perfil son conocidas como tangentes, en cuyo desarrollo el sentido de las pendientes se define de acuerdo al avance del kilometraje de la vía, si la cota sube será una pendiente positiva y si disminuye será negativa (MTC, 2018).

Los tramos rectos son líneas con una pendiente constante, mientras que las curvas verticales facilitan una transición suave entre diferentes pendientes. El perfil longitudinal de la carretera se denomina rasante. (Choconta, 2008).

2.2.10.1. Pendiente.

El valor de la pendiente en el eje de una carretera produce variaciones en la velocidad de operación de los vehículos. Si la pendiente es cero, no influye en la velocidad, si es negativa los vehículos reducen la velocidad por motivos de seguridad, y si es positiva hace que principalmente los vehículos pesados reduzcan su velocidad. (Choconta, 2008).

La pendiente de una carretera se define como la tangente trigonométrica del ángulo de inclinación, considerando que el radio es igual a uno. (Cespedes, 2001).

2.2.10.1.1. Pendiente mínima y máxima.

Para el diseño de carreteras, es esencial mantener las pendientes dentro de un rango adecuado según el tipo de vía. Esto implica definir límites máximos y mínimos para las pendientes.

El manual de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018) indica que es conveniente adoptar una pendiente mínima de 0.5% por temas de drenaje.

El valor de las pendiente máxima están indicadas en la siguiente figura:

Figura 18

Tabla de pendiente máximas.

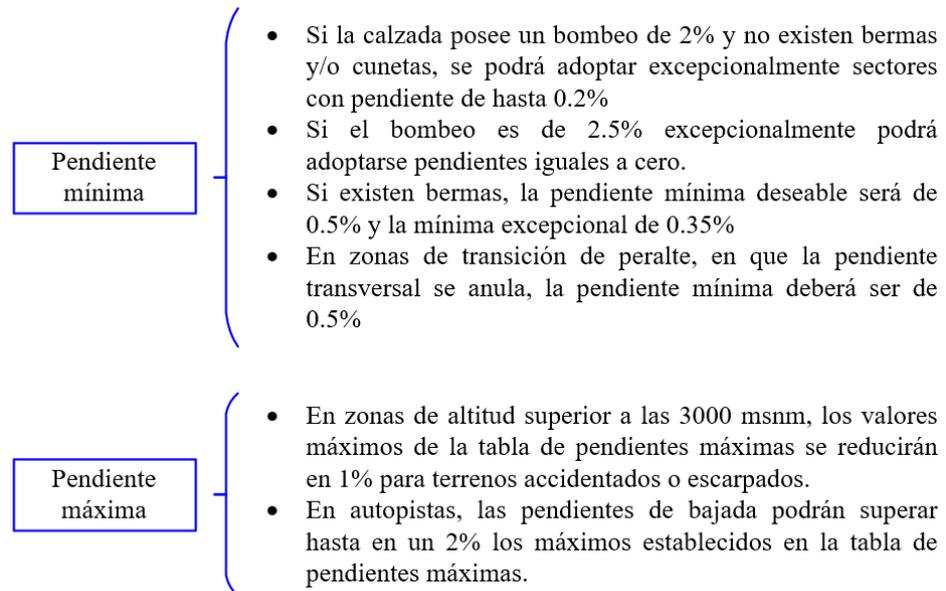
Demanda Vehículos/día	Autopistas				Carretera				Carretera				Carretera							
	> 6000				6000-4001				4000-2001				2000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 Kph																			10	10
40 Kph															9	8	9	10		
50 Kph									7	7			8	9	8	8	8			
60 Kph					6	6	7	7	6	6	7	7	6	7	8	9	8	8		
70 Kph			5	5	6	6	6	7	6	6	7	7	6	6	7		7	7		
80 Kph	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6		6	6			7	7		
90 Kph	4.5	4.5	5		5	5	6		5	5			6				6	6		
100 Kph	4.5	4.5	4.5		5	5	6		5				6							
110 Kph	4	4			4															
120 Kph	4	4			4															
130 Kph	3.5																			

Nota: Valor de las pendientes máximas en porcentaje en función de la velocidad, orografía y demanda. (MTC, 2018, p. 171).

Asímismo se pueden presentar casos particulares de valores de pendientes como se detalle en la Figura 19.

Figura 19

Casos particulares de valores de pendiente.



Nota: Casos particulares de valores de pendiente. (MTC, 2018, p. 170).

2.2.10.2. Curvas verticales.

La curva vertical es una parábola del eje vertical que permite la unión de dos tangentes verticales consecutivas, en cuya longitud se efectúa de forma gradual la variación de la pendiente de entrada con la de salida facilitando una conducción segura y eficaz, agradable a la vista y que permita un drenaje eficiente. (Cardenas, 2013).

Por otro lado, los tramos consecutivos de rasante se enlazan con curvas verticales parabólicas cuando la diferencia de sus pendientes es superior al 1% en carreteras pavimentadas y al 2% en otras vías. (MTC, 2018).

Se pretende que la variación de la pendiente sea uniforme a lo largo de la curva, por lo cual:



$$\frac{d^2y}{dx^2} = a \text{ (constante)}$$

Integrando esta ecuación:

$$\int \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{dy}{dx} = ax + b$$

Volviendo a integrar se obtiene: $\int \frac{dy}{dx} = a \frac{x^2}{2} + bx + c$; que es la ecuación que corresponde a una parábola.

Además son definidos por su parámetro de curvatura K, que equivale a la longitud de la curva en el plano horizontal para cada 1% de variación en la pendiente. (MTC, 2018).

$$K = \frac{L}{A} \dots \text{Fórmula 40}$$

Donde:

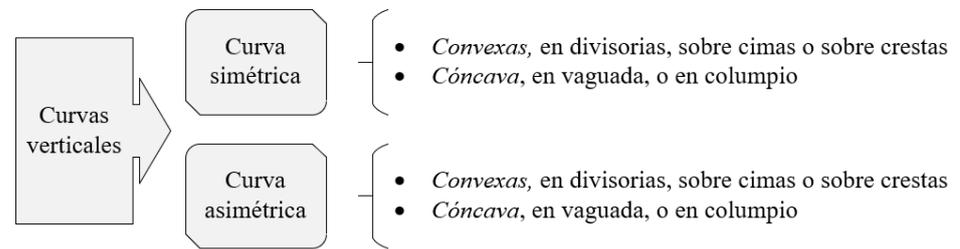
- K: Parámetro de curvatura (Variación por unidad de pendiente)
- L: Longitud de la curva vertical
- A: Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes.

2.2.10.2.1. Tipos de curvas verticales.

Las curvas verticales se dividen de la siguiente manera:

Figura 20

Tipos de curvas verticales

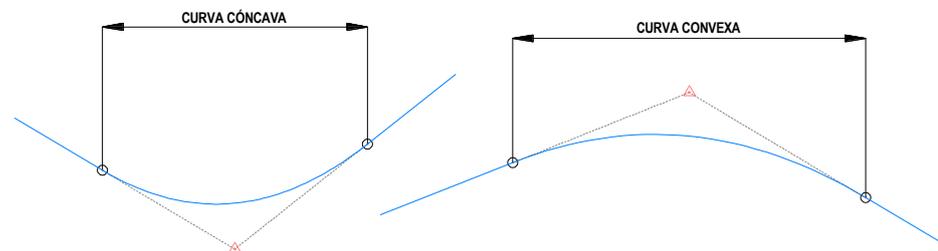


Nota: Tipos de curvas verticales.

En el diseño de carreteras, las curvas convexas son cruciales porque afectan la visibilidad. Por otro lado, las curvas cóncavas solo impactan la extensión del haz de luz de los faros de los vehículos durante la noche. (Cespedes, 2001).

Figura 21

Curva cóncava y convexa



Nota: Representación gráfica de una curva cóncava y convexa. Elaboración propia.

2.2.10.2.2. Curva vertical simétrica.

La curva vertical simétrica consiste en dos parábolas de la misma longitud, que se conectan en la proyección vertical del PIV. La curva vertical sugerida es la parábola de segundo grado. (MTC, 2018).

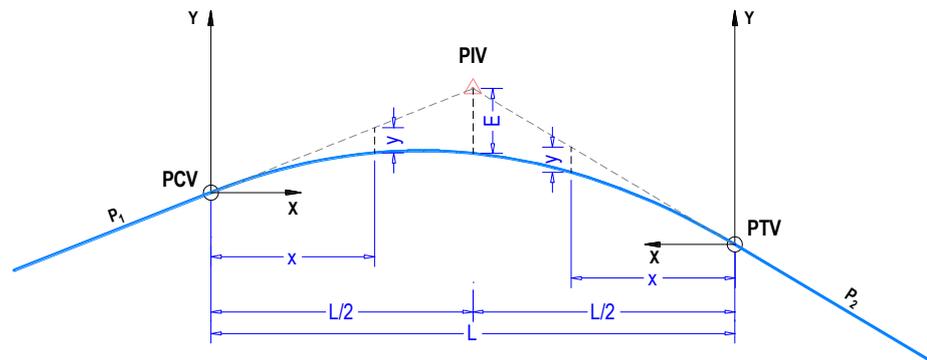
Se denominan así debido a su simetría con respecto al PIV. Sus mediciones, al igual que en todos los trabajos topográficos, se realizan

tanto horizontal como vertical. Por lo tanto, la longitud de la curva corresponde a su proyección horizontal. (Choconta, 2008).

Los elementos principales y las fórmulas matemática son las siguientes:

Figura 22

Curva vertical simétrica



Nota: Elementos de la curva vertical simétrica. (MTC, 2018, p. 175)

Donde:

- PCV: Inicio de la curva vertical.
- PIV: Punto donde intersecan las tangentes verticales.
- PTV: Final de la curva vertical.
- L: Longitud de la curva vertical calculada en su proyección horizontal (m).
- P_1 : Pendiente de la tangente de entrada (%).
- P_2 : Pendiente de la tangente de salida (%).
- A: Diferencia algebraica de pendientes (%).

$$A = |P_1 - P_2| \dots \dots \text{Fórmula 41}$$



Si el resultado de P_2-P_1 es negativo quiere decir que la curva es convexa, en caso sea positivo la curva es cóncava.

- x: Distancia horizontal hasta cualquier punto de la curva.
- y: Distancia vertical en cualquier punto de la curva.

$$y = x^2 \left(\frac{A}{200L} \right) \dots \text{Fórmula 42}$$

- E: Externa. Distancia vertical desde la intersección PIV hacia la curva (m).

$$E = \frac{AL}{800} \dots \text{Fórmula 43}$$

El valor de E al igual que el de y se miden hacia abajo cuando la curva es convexa y hacia arriba cuando la curva es cóncava.

2.2.10.2.3. Curva vertical asimétrica.

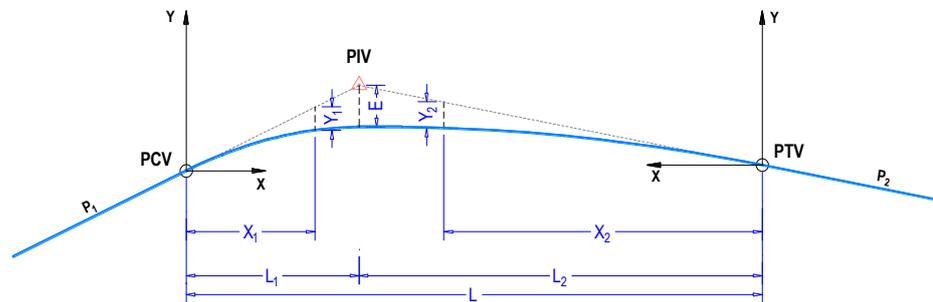
La curva vertical asimétrica consiste en dos parábolas de longitudes distintas (L_1 y L_2) que se conectan en la proyección vertical del PIV (MTC, 2018).

Una curva vertical asimétrica se caracteriza por tener proyecciones de tangentes de diferentes longitudes. Está formada por dos o más arcos parabólicos que comparten una tangente común en el punto donde se unen. (Cespedes, 2001).

Los elementos principales y las fórmulas matemática son las siguientes:

Figura 23

Curva vertical asimétrica



Nota: Elementos de la curva vertical asimétrica. (MTC, 2018, p. 176).

Donde:

- PCV: Inicio de la curva vertical.
 - PIV: Punto donde intersecan las tangentes verticales.
 - PTV: Final de la curva vertical
 - L: Longitud de la curva vertical asimétrica medida en su proyección horizontal (m).
 - P₁: Pendiente de la tangente de entrada (%).
 - P₂: Pendiente de la tangente de salida (%).
 - L₁: Longitud de la primera parábola calculada en su proyección horizontal (m).
 - L₂: Longitud de la segunda parábola calculada en su proyección horizontal (m).
 - A: Diferencia algebraica de pendientes (%).
- $$A = |P_1 - P_2| \dots \dots \text{Fórmula 44}$$
- E: Externa. Distancia vertical desde la intersección PIV hacia la curva (m).



$$E = \frac{AL_1L_2}{200(L_1 + L_2)} \dots\dots \text{Fórmula 45}$$

- x_1 : Distancia horizontal hasta cualquier punto de la primera curva medida desde PCV.
- x_2 : Distancia horizontal hasta cualquier punto de la segunda curva medida desde PTV.
- y_1 : Distancia vertical en cualquier punto de la primera curva.

$$y_1 = E \left(\frac{x_1}{L_1} \right)^2 \dots\dots \text{Fórmula 46}$$

- y_2 : Distancia vertical en cualquier punto de la segunda curva.

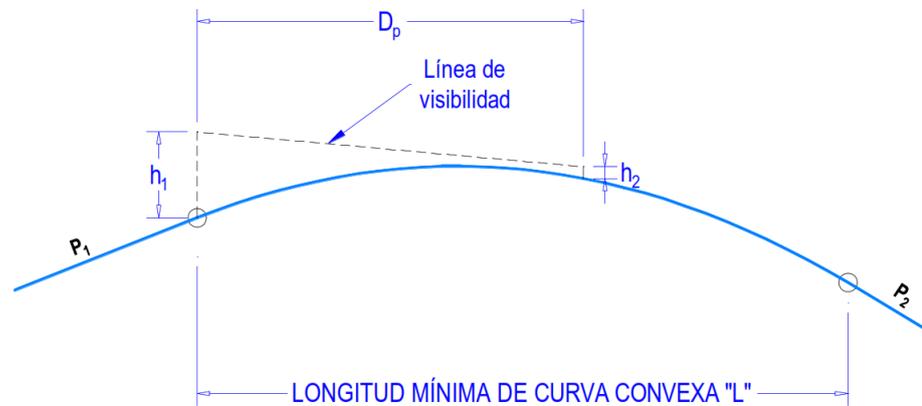
$$y_2 = E \left(\frac{x_2}{L_2} \right)^2 \dots\dots \text{Fórmula 47}$$

2.2.10.2.4. Longitud de curva convexa.

Para las curvas convexas, la longitud de la curva debe garantizar que, a lo largo de toda su extensión, la distancia de visibilidad sea igual o superior a la distancia de parada. En casos particulares se puede diseñar con la distancia de visibilidad de paso, sin embargo esto conlleva a costos elevados por movimientos de tierra. (MTC, 2018).

Figura 24

Longitud de curva convexa



Nota: Representación de la longitud de curva vertical convexa con distancia de visibilidad de parada. (MTC, 2018, p. 178).

Donde:

- L: Longitud de la curva vertical (m).
- D_p : Distancia de visibilidad de frenado (m).
- A: Diferencia algebraica de pendientes (%).
- h_1 : Altura del ojo sobre la rasante = 1.07m.
- h_2 : Altura del objeto sobre la rasante = 0.15m, en caso de considerar distancia de visibilidad de adelantamiento = 1.30m.

La longitud de curva se determina con las siguientes fórmulas:

Si $D_p < L$

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

$$L = \frac{AD_p^2}{100(\sqrt{2 \times 1.07} + \sqrt{2 \times 0.15})^2} = \frac{AD_p^2}{404} \dots \dots \text{Fórmula 48}$$

Si $D_p > L$

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

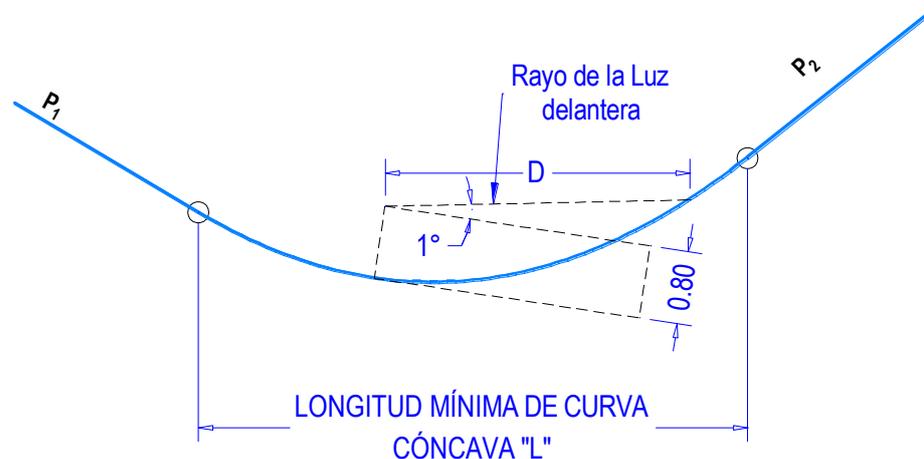
$$L = 2D_p - \frac{200(\sqrt{1.07} + \sqrt{0.15})^2}{A} = 2D_p - \frac{404}{A} \dots \text{Fórmula 49}$$

2.2.10.2.5. Longitud de curva cóncava.

Para las curvas cóncavas, la longitud de la curva debe garantizar que, a lo largo de toda su extensión, la distancia de visibilidad sea igual o superior a la distancia de parada. Se aplica el mismo criterio de seguridad al igual que la curva convexa. (MTC, 2018).

Figura 25

Longitud de curva cóncava



Nota: Representación de la longitud de curva vertical cóncava con distancia de visibilidad de parada. (MTC, 2018, p. 178)

Donde:

- L: Longitud de la curva vertical (m).



- D: Distancia entre el vehículo y el punto en el que con un ángulo de 1° , los rayos de luz de los faros intersecan a la rasante = D_p (Criterio de seguridad).

- A: Diferencia algebraica de pendientes (%).

Si $D < L$

$$L = \frac{AD^2}{120 + 3.5D} \dots \text{Fórmula 50}$$

Si $D > L$

$$L = 2D - \left(\frac{120 + 3.5D}{A} \right) \dots \text{Fórmula 51}$$

2.2.10.2.6. Longitud mínima de cualquier curva vertical.

Se recomienda que la longitud mínima de una curva vertical ya sea concava o convexa, y teniendo en cuenta la estabilidad de los vehículos es la siguiente: (Choconta, 2008).

$$L_{\min} = 0.6V \dots \text{Fórmula 52}$$

La velocidad se encuentra en Km/h y la longitud es en metros. Esta fórmula se aplica cuando no es necesaria una curva vertical por motivos de visibilidad, esta fórmula genera una curva que ayuda a la estabilidad de los vehículos en terminos de momento vertical. Esta longitud corresponde a los tramos verticales en la parte inferior izquierda de las figuras 303.06 y 303.08 de la DG-2018. (Choconta, 2008).



2.2.11. Diseño geométrico en sección transversal.

Consiste en la definición de la ubicación y medidas de los elementos que forman la vía en una sección perpendicular al eje de la carretera (Cardenas, 2013).

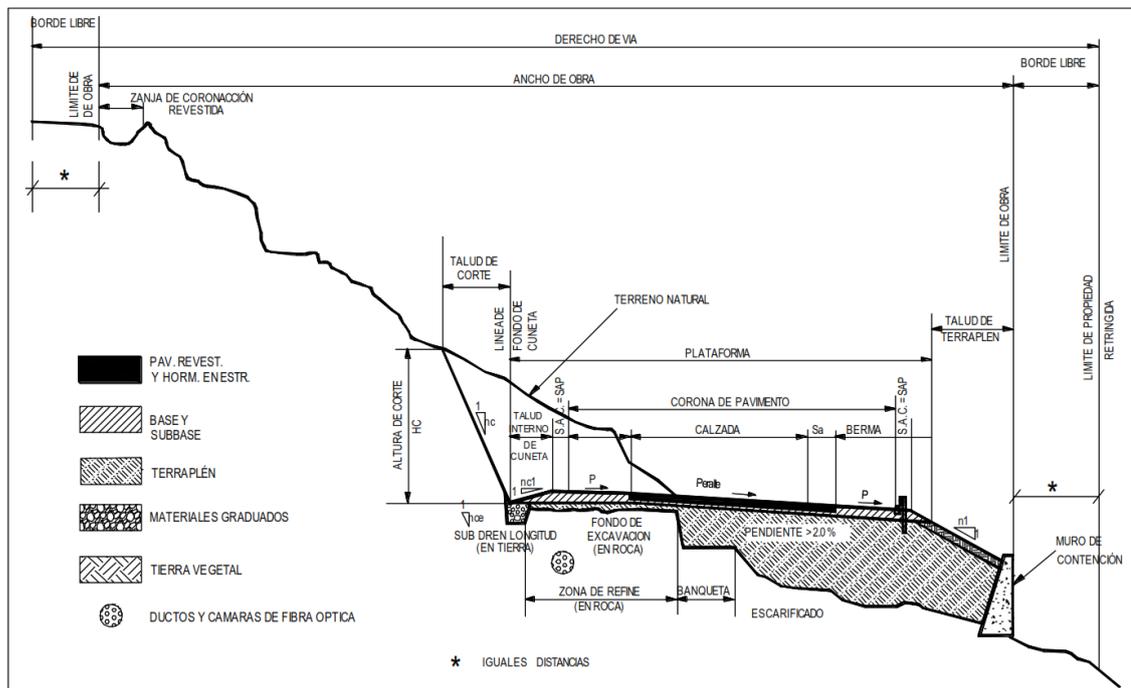
La sección transversal de una carretera cambia a lo largo de su recorrido debido a la combinación de diferentes elementos que la componen. Estos elementos varían en tamaño, forma y relación entre sí, dependiendo de las funciones que deben cumplir y de las características del diseño y del terreno. (MTC, 2018).

2.2.11.1. Elementos de la sección transversal

Los elementos que conforman la sección transversal de la carretera son: carriles, calzada, bermas, cunetas, taludes y otros elementos que serán particulares en distintos tramos de la vía, además todos estos elementos se encuentra ubicados dentro del derecho de vía. (MTC, 2018).

Figura 26

Sección transversal típica para carretera.



Nota: Sección transversal típica de una carretera con sus elementos de sección transversal. (MTC, 2018, p. 188).

2.2.11.2. Calzada o superficie de rodadura

Es la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos que se compone mínimamente por un carril sin incluir la berma (MTC, 2018).

En la siguiente figura, se indican los valores del ancho de la calzada en función de la velocidad, la clasificación por demanda y la clasificación por orografía.

Figura 27

Valores de ancho mínimo de calzada en tangente

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	>6000				6000-4001				4000-2001				2000-400				< 400			
Tipo	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 Km/h																			6	6
40 Km/h															6.6	6.6	6.6	6.6	6	6
50 Km/h											7.2	7.2			6.6	6.6	6.6	6.6	6	6
60 Km/h						7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
70 Km/h			7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
80 Km/h	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2			6.6	6.6	6.6	6.6
90 Km/h	7.2	7.2	7.2		7.2	7.2	7.2		7.2	7.2			7.2				6.6	6.6	6.6	6.6
100 Km/h	7.2	7.2	7.2		7.2	7.2	7.2		7.2				7.2							
110 Km/h	7.2	7.2			7.2															
120 Km/h	7.2	7.2			7.2															
130 Km/h	7.2																			

Nota: Valores de ancho mínimo de calzada en tangente. (MTC, 2018, p. 191).

2.2.11.3. Bermas

Es una franja longitudinal que se ubica al lado de la superficie de rodadura de la vía, se utiliza como lugar de estacionamiento para los vehículos en caso de emergencias. En las carreteras de calzada única, es esencial que las bermas tengan el mismo ancho a ambos lados. (MTC, 2018).

Si la berma se pavimenta, es necesario agregar una franja lateral sin pavimentar de al menos 0.50m de ancho para su confinamiento adecuado. Esta franja es conocida como sobreancho de compactación (s.a.c.), también sirve para colocar señalización y barreras.

En la siguiente figura se tiene los valores del ancho de bermas en función a la clasificación de la carretera, velocidad de diseño y orografía.

Figura 28

Valores de ancho de berma.

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	>6000				6000-4001				4000-2001				2000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 Km/h																			0.5	0.5
40 Km/h																	1.2	1.2	0.9	0.5
50 Km/h											2.6	2.6			1.2	1.2	1.2	0.9	0.5	
60 Km/h					3	3	2.6	2.6	3	3	2.6	2.6	2	2	1.2	1.2	1.2	1.2		
70 Km/h			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1.2		1.2	1.2		
80 Km/h	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		2	2			1.2	1.2		
90 Km/h	3	3	3		3	3	3		3	3			2				1.2	1.2		
100 Km/h	3	3	3		3	3	3		3				2							
110 Km/h	3	3			3															
120 Km/h	3	3			3															
130 Km/h	3																			

Nota: Valores de ancho mínimo de calzada en tangente. (MTC, 2018, p. 193).

2.2.11.4. Bombeo

Se ubica en tramos en tangente y en curvas en contraperalte, la superficie de rodadura debe tener una pendiente transversal denominada bombeo cuyo fin es drenar las aguas superficiales. (MTC, 2018).

EL bombeo de dos aguas tiene una inclinación que comienza en el centro de la calzada y se extiende hacia los bordes. (MTC, 2018).

En la siguiente figura se especifica los valores de bombeo de la calzada.

Figura 29

Valores del bombeo de la calzada.

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

Nota: Valores del bombeo de la calzada. (MTC, 2018, p. 195).

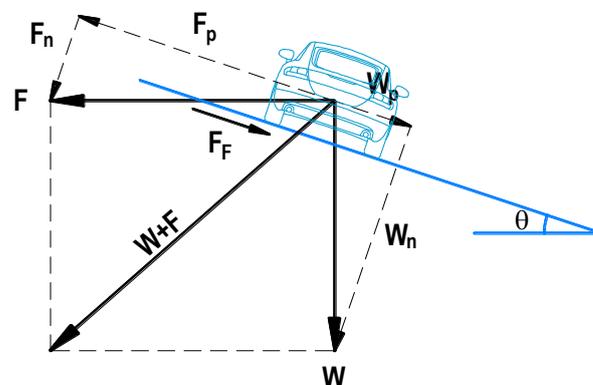
2.2.11.5. Peralte

El peralte es la inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, cuyo fin es contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo. (MTC, 2018).

El peralte es la inclinación asociada en la sección transversal de la calzada en un eje curvo, cuyo objetivo es facilitar el desplazamiento seguro de los vehículos sin peligros de deslizamientos. (Cardenas, 2013).

Figura 30

Fuerzas que actúan sobre un vehículo.



Nota: Efecto de la inclinación transversal de la calzada sobre un vehículo circulando en una curva. Adaptado de “Diseño geométrico de carreteras” por J. Cardenas, 2013, p.191.



De la figura anterior se interpreta que la fuerza resultante ($F+W$) actúa en la misma dirección que la fuerza centrífuga F . Como resultado, el vehículo tiende a deslizarse hacia el exterior de la curva, generando un momento en sentido antihorario produciendo el vuelco del vehículo. (Cardenas, 2013).

El valor del peralte máximo está relacionado con cuatro factores: las condiciones climáticas (como la frecuencia y cantidad de lluvia, nieve y hielo), la orografía (plano, ondulado, accidentado o escarpado), tipo de zona (rural o urbana), y la frecuencia de vehículos lentos que podrían verse afectados por peraltes elevados. La combinación de estos factores llevan a la conclusión de que no existe un valor de peralte máximo que sea aplicable para todas las situaciones. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

Para mantener la coherencia en el diseño, es preferible usar un solo tipo de peralte máximo en una región con clima y uso del suelo similares. La coherencia en el diseño se refiere a la uniformidad del alineamiento y las dimensiones de los elementos de diseño. Esta uniformidad ayuda a los conductores a mejorar sus habilidades de percepción y reacción al desarrollar expectativas claras. Los elementos de diseño que no son uniformes para el mismo tipo de camino van en contra de estas expectativas y aumentan la carga de trabajo mental del conductor. En resumen, existe una relación inherente entre la coherencia del diseño, la carga de trabajo del conductor y la frecuencia de accidentes, siendo los diseños coherentes los que se asocian con menores cargas de trabajo y

menos accidentes. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

En la siguiente figura se especifica los valores de peralte máximo.

Figura 31

Valores de peralte máximo.

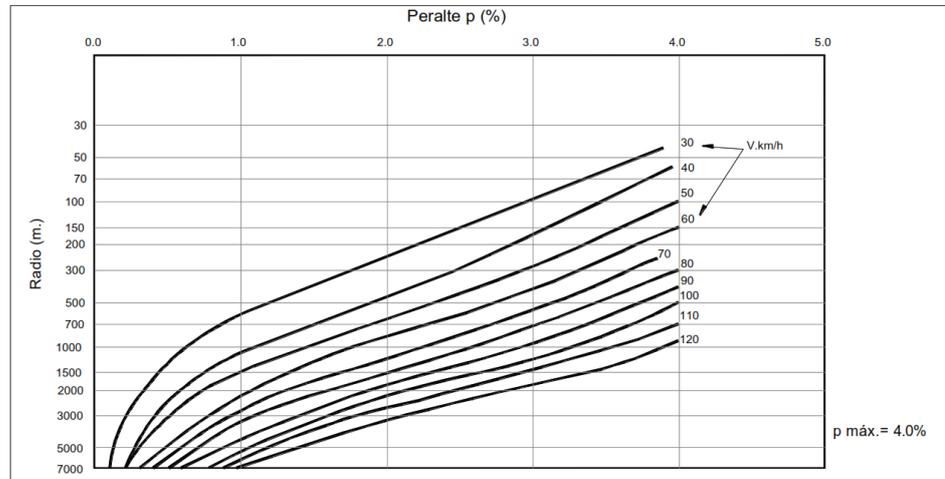
Pueblo o ciudad	Peralte máximo (p)		Ver figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0 %	4.0 %	32
Zona rural (T. Plano, ondulado o accidentado)	8.0 %	6.0 %	33
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0 %	8.0 %	34
Zona rural con peligro de hielo	8.0 %	6.0 %	35

Nota: Valores del peralte máximo. (MTC, 2018, p. 196).

Para curvas con radios superiores al radio mínimo los siguientes gráficos de la DG-2018 permiten obtener el peralte para una curva que se desea proyectar. Estos gráficos están de acuerdo al método N° 5 de distribución del peralte de la normativa AASHTO.

Figura 32

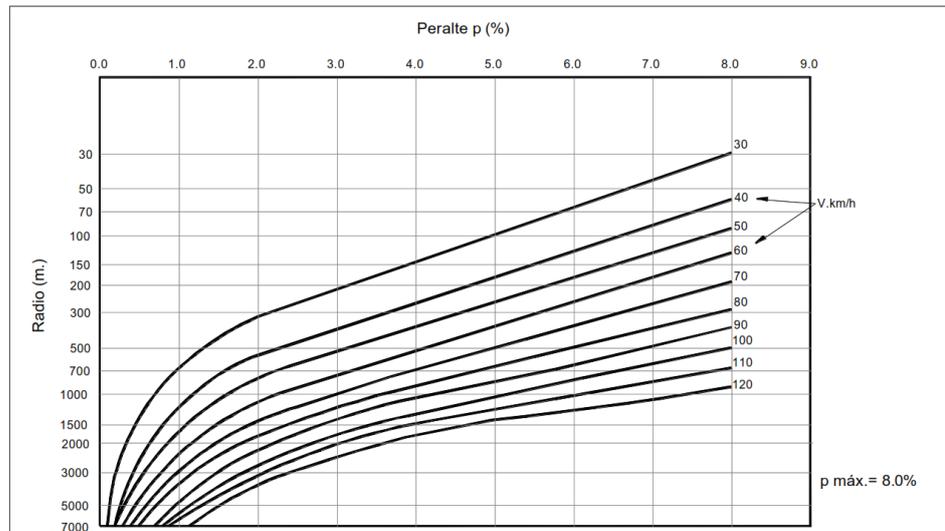
Peralte en cruce de áreas urbanas.



Nota: Peralte en cruce de áreas urbanas, peralte máximo = 4%. (MTC, 2018, p. 130)

Figura 33

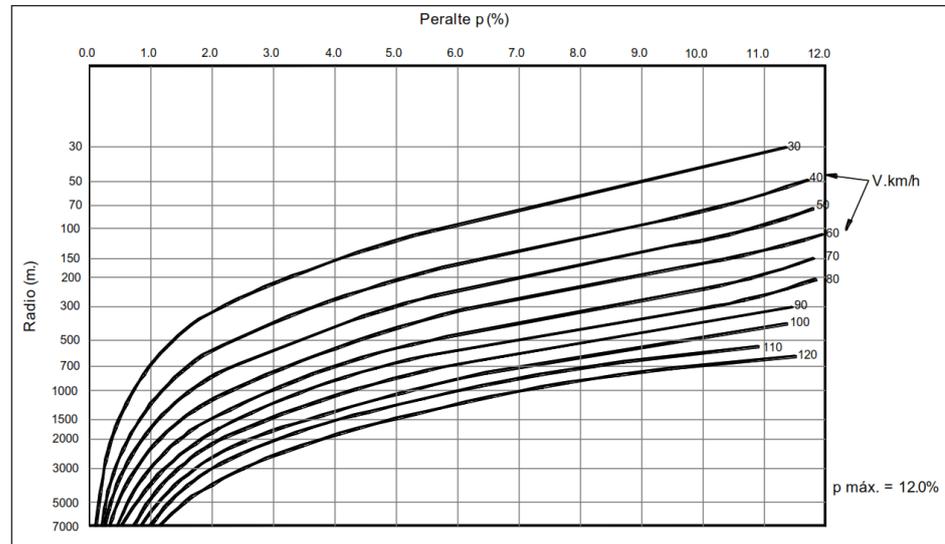
Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 o 3).



Nota: Peralte en zona rural para terreno tipo 1, 2 o 3, peralte máximo = 8%. (MTC, 2018, p. 130).

Figura 34

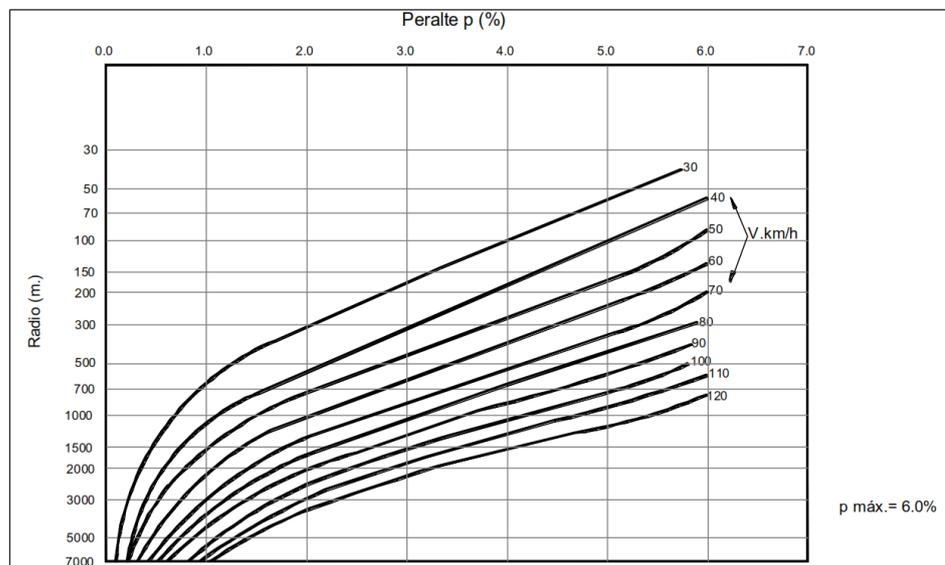
Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4).



Nota: Peralte en zona rural para terreno tipo 3 o 4, peralte máximo = 12%. (MTC, 2018, p. 131).

Figura 35

Peralte en zonas con peligro de hielo.



Nota: Peralte en zonas con peligro de hielo, peralte máximo = 6%. (MTC, 2018, p. 131).

2.2.11.5.1. Transición del peralte

El cambio progresivo del bombeo al peralte se realiza de manera gradual a lo largo de la curva de transición. Si no hay una curva de

transición, una parte del cambio se efectúa en la tangente y la otra en la curva. En curvas cortas o de poco desarrollo, es necesario asegurarse de que el peralte total requerido se mantenga en una longitud al menos igual a $V/3.6$, expresado en metros. (MTC, 2018).

Figura 36

Proporción de peralte a desarrollar en tangente.

$p < 4.5\%$	$4.5\% < p < 7\%$	$p > 7\%$
$0.5p$	$0.7p$	$0.8p$

Nota: Proporción de peralte que se desarrolla en tangente en función del peralte de la curva simple. (MTC, 2018, p. 197).

La transición del peralte es la línea del borde de la calzada donde se realiza el cambio gradual de la pendiente, desde la zona en tangente hasta la zona con peralte de la curva. (MTC, 2018).

$$i_{p_{\max}} = 1.8 - 0.01V \dots \text{Fórmula 53}$$

Donde:

- $i_{p_{\max}}$: Máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la carretera (%).
- V : Velocidad de diseño (Km/h).

La longitud mínima del tramo de transición del peralte se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$L_{\min} = \frac{p_f - p_i}{i_{p_{\max}}} B \dots \text{Fórmula 54}$$

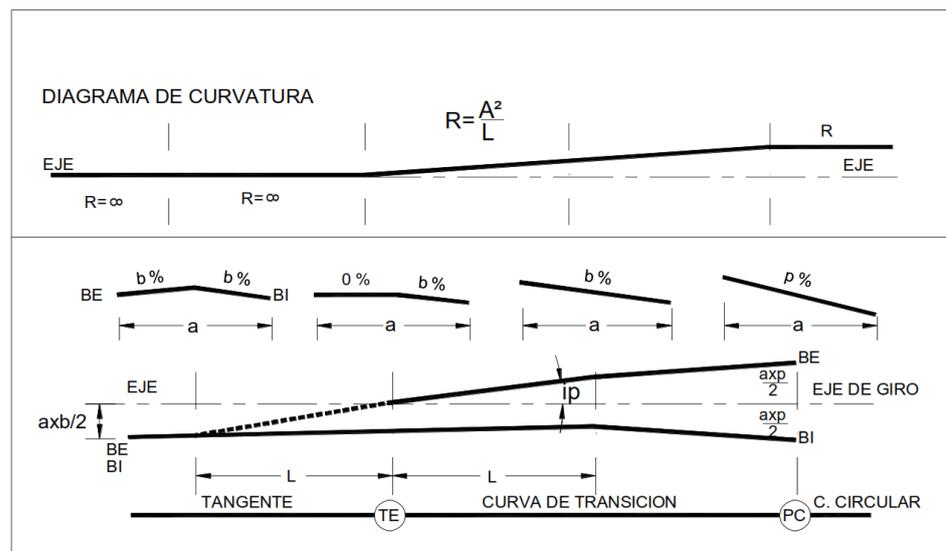
Donde:

- L_{min} : Longitud mínima del tramo de transición del peralte (m).
- P_f : Peralte final con su signo en por ciento.
- P_i : Peralte inicial con su signo en por ciento.
- B : Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m).

Las siguientes figuras ilustran los procedimientos de transición de peralte para una curva con y sin transición, con un giro alrededor del eje.

Figura 37

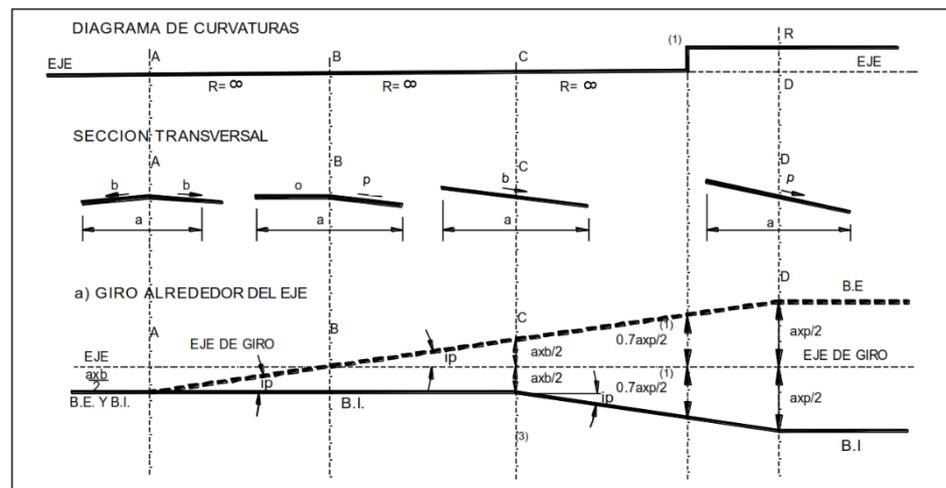
Diagrama de peralte para una curva con transición.



Nota: (MTC, 2018, p. 156).

Figura 38

Diagrama de peralte para una curva simple.



Nota: El porcentaje de peralte en tangente dependerá del valor de peralte máximo en la curva. (MTC, 2018, p. 157).

2.2.12. Software BIM CIVIL 3D.

El software Civil 3D desarrollada por la empresa AUTODESK es una herramienta muy práctica para la creación de proyectos lineales y movimiento de tierras (Carreteras, canales, redes de tubería, canteras, DME, etc.), los diseños se realizan en 2D y 3D, además permite un flujo de trabajo BIM para una mejor coordinación y realiza la documentación para la presentación final del proyecto.

AutoCAD Civil 3D es un conjunto de herramientas que se basan en AutoCAD (Diseño Asistido por Computadora) con funciones específicas para la realización de modelos digitales de topografía, trazado de obras lineales con secciones transversales típicas o adaptadas según el objetivo de aplicación, perfiles longitudinales, cálculo de movimientos de tierra, etc. Su gran flexibilidad y coordinación entre los componentes del proyecto (Data Civil 3D) lo convierte en una verdadera ayuda de diseño en lugar de solo una herramienta de dibujo. Además, la gran facilidad que tiene de reproducir los modelos 3D luego de realizar



los diseños en 2D, lo hace ideal para crear presentaciones de maquetas virtuales o crear imágenes fotorrealistas del proyecto. (Ugarte, 2016).

“Autodesk Civil 3D 2023 es un software de diseño de ingeniería civil que admite BIM (Modelado de Información para la Construcción) con herramientas integradas para mejorar el dibujo, el diseño y la documentación de obras de infraestructura vial”. (AportesIngeCivil, 2022, p. 1).

2.2.13. Software complemento VEHICLE TRACKING.

Es un software complemento al Civil 3D que se usa para predecir la trayectoria que realiza un móvil (vehículo, tren y avión) durante su desplazamiento.

También se define que:

Autodesk Vehicle Tracking 2023 es un software de análisis y diseño de la trayectoria recorrida por un vehículo. Proporciona un conjunto de herramientas de diseño de transporte que incluyen la predicción de la trayectoria recorrida por los vehículos (para vehículos dirigidos, vehículos ligeros sobre rieles y aeronaves), además el diseño de estacionamientos y el diseño de rotondas. (AportesIngeCivil, 2022, p. 1).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación de acuerdo al fin que se persigue es una investigación aplicada ya que se busca conocer y modificar una realidad problemática, de acuerdo a los tipos de datos analizados es de un enfoque cuantitativo y de acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis es de tipo no experimental – descriptivo. (Borja, 2016).

3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

La hipótesis de la presente investigación es de una sola variable, estas hipótesis tienen como objetivo describir situaciones tratando de identificar la mayor cantidad posible de elementos implicados en el problema planteado. (Suca, 2016).

Tabla 3

Operacionalización de las variables

Variable	Variables intermedias	Indicadores	Medición	Tipo y nivel de investigación
Parámetros geométricos de la carretera	Geometría en planta	Radio	Metros	Descriptiva Cuantitativa
		Espiral	Metros	
		Transición de espiral	Metros	
		Longitud curva horizontal	Metros	
		Ángulo de deflexión	Grados	
		Longitud de tangente	Metros	
	Geometría en perfil	Distancias de visibilidad	Metros	
		Pendiente	%	
		Curvas Verticales	k	
		Longitud curva vertical	Metros	



Variable	Variab intermedias	Indicadores	Medición	Tipo y nivel de investigación
	Geometría en sección transversal	Calzada y berma	Metros	
		Transición del Peralte	%	
		Sobreechancho	Metros	
		Peralte	%	

Nota: Elaboración propia.

3.3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Esta investigación pertenece a un diseño no experimental, se fundamentan en recopilar información sin alterar los valores de las variables, es decir, tal como se presentan en la realidad. (Borja, 2016).

3.4. POBLACIÓN

La población de estudio es la carretera interoceánica Sur Tramo IV (PE 34B de acuerdo a clasificación del SINAC) con un recorrido total de 305.9 Km que inicia en el distrito de Azángaro (Km 51) y termina en el puente Inambari (Km 356) ubicado en la región de Puno.

La carretera atraviesa dos provincias (Azángaro y Carabaya), 7 distritos (Asillo, San Antón, Antauta, Ajoyani, Macusani, Ollachea y San Gabán).

Figura 39

Ubicación de la población de estudio.



Nota: Foto satelital de la carretera interoceánica sur Tramo IV.

3.5. MUESTRA

El estudio se realiza entre los Km 183+720 – 231+667 (Ruta PE 34B) de la carretera interoceánica Sur Tramo IV. La progresiva de inicio corresponde al distrito de Macusani y la progresiva final corresponde al distrito de Ollachea, ambos pertenecientes a la provincia de Carabaya de la región de Puno. (Ver Anexo 01).

Las coordenadas (Datum WGS84 Zona 19S) de inicio y final son las siguientes:

Inicio X: 345155.635

Y: 8444609.848

Z: 4300.392



Final X: 340290.318

Y: 8473372.511

Z: 2733.242

Figura 40

Ubicación de la muestra de estudio.



Nota: Elaboración propia.



3.6. MATERIALES.

3.6.1. Materiales para trabajo de campo.

- 01 Libreta topográfica.
- Útiles de escritorio.

3.6.2. Materiales para trabajo de gabinete.

- Software Civil 3D 2025 (Versión educativa).
- Software Vehicle Tracking 2025 (Versión educativa).
- Software Infracore 2025 (Versión educativa).
- 01 laptop.
- 01 impresora.
- Útiles de escritorio.

3.7. EQUIPOS.

- 01 Estación total Leica TS06 PLUS 1" R1000 serie 1303686.
- 01 combi de 10 pasajeros para movilizar al personal.
- 03 prismas con jalón.
- 01 tripode.
- 01 Cámara fotográfica.

3.8. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.8.1. Técnicas.

Para la presente investigación se aplicó la técnica de la observación, a partir de toma de datos en formatos adecuados.



3.8.2. Recolección de datos bibliográficos.

En este paso se exploró todo el conjunto de fuentes bibliográficas que resultan de utilidad para la demostración de la hipótesis:

- Revisión del diseño geométrico del expediente técnico de la carretera Macusani – Ollachea. (Km 183+720 – Km 231+667).
- Obtención de los planos Asbuilt del eje geométrico brindado por el encargado de oficina técnica de la empresa concesionaria de la carretera en estudio. (Km 183+720 – Km 231+667).
- Información bibliográfica relacionada al tema.

3.8.3. Recolección de datos en campo del trazo existente.

- Se obtuvo el aforo del tráfico vehicular en la progresiva 187+340 (Peaje Macusani) del sistema TCP-TOLL Web 2.0 que es un sistema de gestión y control que ayuda a las concesiones viales a administrar sus negocios de forma rápida y eficiente. El conteo vehicular será tanto de entrada como de salida (Ascendente y descendente) diferenciando a los vehículos ligeros y pesados.

La fecha del conteo vehicular es del 13/12/2023 al 24/12/2023 durante las 24 horas.

Figura 41

Sistema de conteo vehicular.



Nota: Imagen adaptada de <https://www.telectronicapeaje.com/sistema-de-peaje-canalizado/>.

- Posteriormente se realizó el proceso de los datos obteniendo la variación diaria, la variación horaria y el conteo vehicular promedio para vehículos ligeros y pesados.
- Se calculó el IMDA (Índice Medio Diario Anual) y la proyección del tráfico para un periodo de diseño de 20 años de acuerdo a la DG-2018 y a los procedimientos indicados en la RM N° 936-2023-MTC/01 “Ficha Técnica Estandar, Instructivo y Líneas de Corte para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas”. (Ver anexo 02).

3.8.4. Procesamiento de datos en gabinete del trazo existente.

- Con la información del tráfico y la topografía del expediente técnico, se clasificó la carretera de acuerdo a la DG-2018 y se asignó velocidades por tramos.



- Se realizó el procesamiento del trazo existente en el software civil 3D obteniendo el inventario de los elementos geométricos de la carretera existente en planta, perfil y sección transversal, se elaboraron los planos de planta y perfil. (Ver anexo 03).
- Posteriormente se evaluó el inventario de los elementos geométricos existentes en función a la norma DG-2018 verificando su cumplimiento. (Ver anexo 04, 05 y 06).

3.8.5. Recolección de datos en campo para el trazo nuevo Km 191+000 – 194+094.296.

El nuevo diseño geométrico de la carretera se realizó en un sector seleccionado de ella, en donde se tendrá en cuenta las condiciones dispuestas por el manual de diseño geométrico DG-2018.

- Se realizó el levantamiento topográfico con estación total entre las progresivas Km 191+000 – 194+094.296 para lo cual se tiene como base los siguientes BM que fueron usados para la construcción de la carretera interoceánica. (Ver anexo 07).

Tabla 4

Lista de BM utilizados para el levantamiento topográfico.

LISTA DE BM UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO KM 191 AL KM 194+094.296							
COORDENADAS UTM WGS 84							
BM ID	ZONA 19 SUR		ALTITUD COTA/NIV.	FACTOR DE ESCALA	PROGRESIVA	LADO	OBSERVACION
	NORTE	ESTE					
4270 HSA	8450115.247	342086.416	4236.861	0.9992432	190+932.385	DER 16.800	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"
4271	8450378.731	341732.480	4230.208	0.9992470	191+407.173	DER 14.775	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"
4272	8450641.212	341280.366	4215.460	0.9992502	192+005.424	DER 6.912	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"
4273	8450912.549	340919.613	4196.425	0.9992542	192+470.615	DER 16.385	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"
Z039	8451257.738	340865.747	4181.796	0.9992566	192+853.977	DER 64.353	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"

LISTA DE BM UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO KM 191 AL KM 194+094.296

COORDENADAS UTM WGS 84

BM ID	ZONA 19 SUR		ALTITUD COTA/NIV.	FACTOR DE ESCALA	PROGRESIVA	LADO	OBSERVACION
	NORTE	ESTE					
CF27	8451712.388	340305.421	4172.939	0.9992602	193+883.431	DER 28.776	Hito de Concreto C/Fierro Corrugado D=3/8"

Nota: Elaboración propia.

Figura 42

Levantamiento topográfico.



Nota: Elaboración propia.

3.8.6. Procesamiento de datos en gabinete para el trazo nuevo Km 191+000 – 194+094.296.

- Se realizó el procesamiento del levantamiento topográfico con el software civil 3D 2025 con el método tradicional de la triangulación.
- Se diseñó el nuevo trazo con el software civil 3D 2025 entre las progresivas Km 191+000 – Km 194+094.296 en función a la normativa DG-2018 elaborando planos de planta, perfil y sección transversal. (Ver anexo 8 y 9).

Figura 43

Diseño del nuevo trazo.

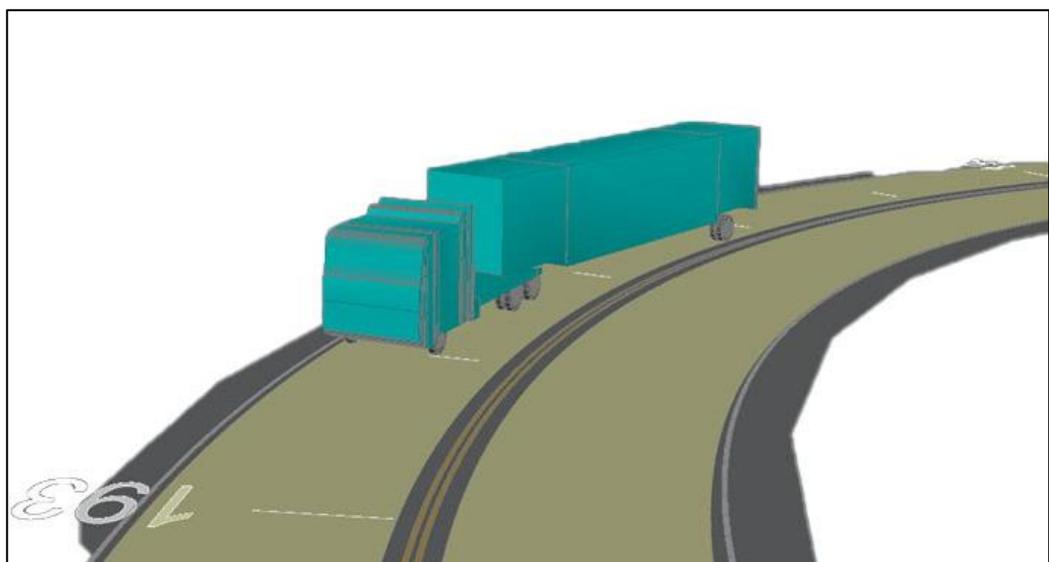


Nota: Elaboración propia con el software Autodesk InfraWork.

- Se simuló el recorrido del vehículo T3S3 en el nuevo trazo de la progresiva Km 191+000 – Km 194+094.296 con el software Vehicle Tracking 2025 para verificar el cálculo del sobreeje para un vehículo articulado. (Ver anexo 10).

Figura 44

Simulación de recorrido vehículo T3S3.



Nota: Elaboración propia.



- Se calculó la influencia del costo de mantenimiento con micropavimento versus una pavimentación nueva en el tramo Km 191+000 – Km 194+094.296. (Ver anexo 11).

3.9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS.

Para la presente investigación se aplicó la estadística descriptiva.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

Para el estudio se planteó la siguiente hipótesis: Los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – 231+667 no cumplen al 100% la normativa vigente DG-2018.

4.1.1. Conteo vehicular promedio

De acuerdo a los datos brindados por el sistema TCP-TOLL Web 2.0 la cantidad de vehículos promedio diario que pasan por el tramo de estudio es de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5

Lista de BM utilizados para el levantamiento topográfico.

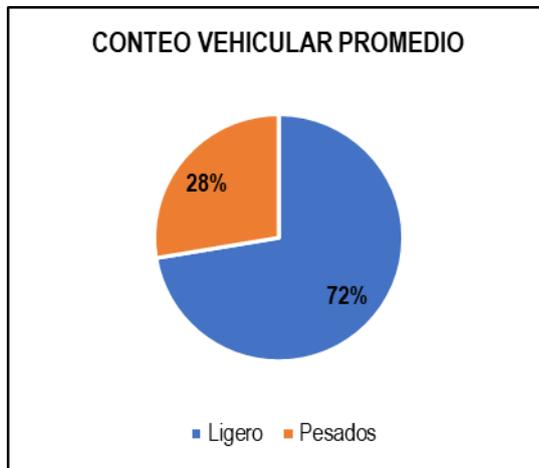
Conteo vehicular promedio entre el 13/12/2023 al 24/12/2023											
Sentido	Ligero				Pesados						Total
	2 ejes	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	6 ejes	7 ejes	8 ejes	9 ejes	10 ejes	
Entrada	416	71	21	8	14	38	0	0	0	0	568
Salida	401	65	21	9	10	55	0	0	0	0	561
Ambos	817	136	42	17	24	93	0	0	0	0	1129

Nota: La memoria de cálculo se encuentra en el anexo 02.

De la tabla 5 se aprecia que la cantidad de vehículos ligeros representa un 72% del total de los vehículos que pasan al día y los vehículos pesados representan un 28%. (Ver figura 45).

Figura 45

Conteo vehicular promedio, ligeros vs pesados.

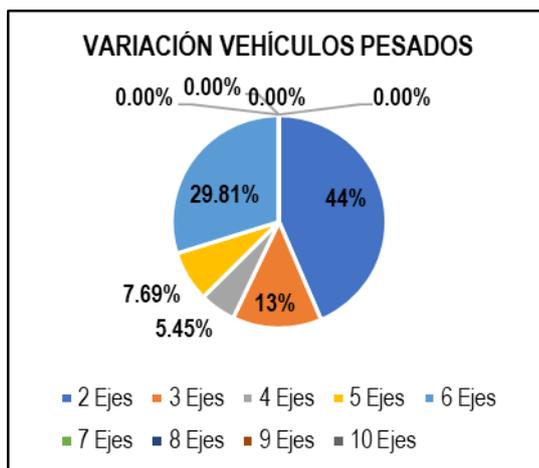


Nota: Elaboración propia.

De los vehículos pesados los que resaltan más son los de 2 ejes (44%) y 6 ejes (29.81%), los vehículos de 2 ejes son los camiones C2 y los vehículos de 6 ejes son los semiremolques T3S3. (Ver figura 46).

Figura 46

Clasificación de vehículos pesados por ejes.



Nota: Elaboración propia.

El vehículo de diseño que se usará en la investigación será el semiremolque T3S3 que es un vehículo articulado de 6 ejes, cuyas dimensiones serán de acuerdo a lo indicado en la p. 27 de la DG-2018. El ancho del vehículo es de 2.60m.

Figura 47

Vehículo de diseño T3S3.



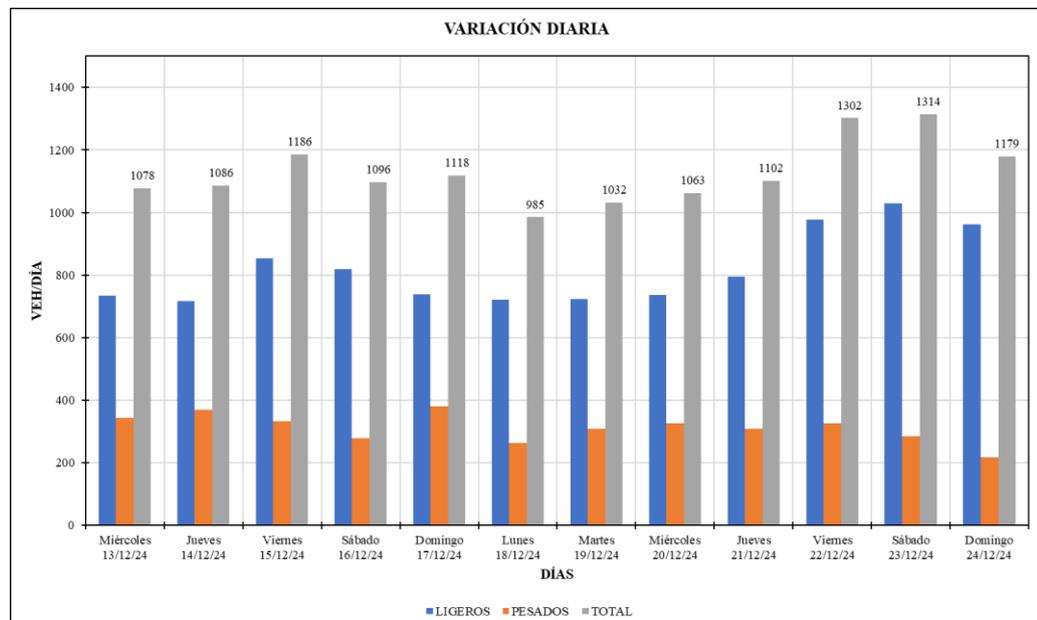
Nota: Las dimensiones están de acuerdo a la normativa DG-2018.

4.1.2. Variación diaria y horaria

Con el conteo vehicular se tiene la variación diaria y la variación horaria cuya información se encuentra en la figura 48 y 49:

Figura 48

Variación diaria del conteo vehicular.

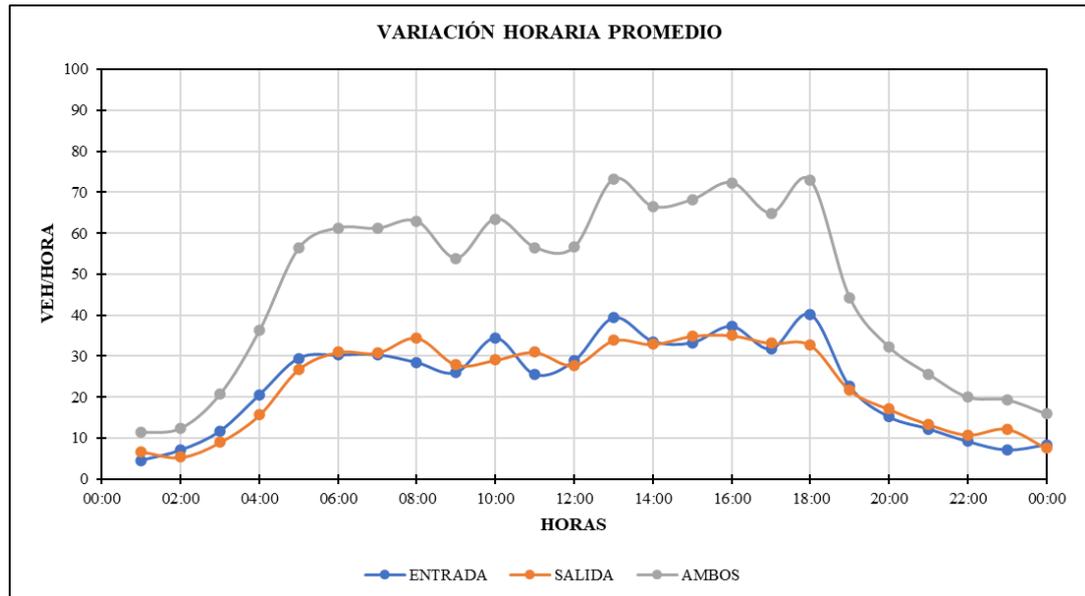


Nota: Elaboración propia (Ver anexo 02).

En la figura 48 se aprecia que entre los días viernes a domingo el tránsito vehicular de los vehículos ligeros es mayor con respecto a los demás, sin embargo los vehículos pesados tienen un promedio constante durante la semana.

Figura 49

Variación horaria del conteo vehicular.



Nota: Elaboración propia (Ver anexo 02)

En la figura 49 se aprecia que desde las 13 horas hasta las 18 horas el tránsito es mayor con respecto a las demás. Esta afirmación es tanto para vehículos ligeros como vehículos pesados.

4.1.3. Cálculo del índice medio diario anual

El cálculo del IMDA se calculó de acuerdo a lo indicado en la “Ficha Técnica Éstandar e Instructivo para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carrreteras Interurbanas” aprobado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones bajo RM N° 936-2032-MTC/01.

El reglamento indica que el IMDA, se obtiene de aplicar los Factores de Corrección de vehículos ligeros por Unidad de Peaje y los Factores de Corrección

de vehículos pesados por Unidad de Peaje a los datos de tráfico obtenidos en el conteo.

Los factores de corrección para la unidad de peaje Macusani es de: 0.8879 para vehículos ligeros y 0.9983 para vehículos pesados.

$$\text{IMDA} = \frac{(\text{Suma de tránsito diario de lunes a do min go})}{7} \times \text{Factor de corrección}$$

Tabla 6

Índice medio diario anual.

Factor de corrección	Sentido	Ligero					Pesados					Total
		2 ejes	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	6 ejes	7 ejes	8 ejes	9 ejes	10 ejes	
Ligero 0.8879*	Entrada	369	71	21	8	14	38	0	0	0	0	521
Pesado 0.9983*	Salida	356	65	21	9	10	55	0	0	0	0	516
	Ambos	725	136	42	17	24	93	0	0	0	0	1037
	Porcentaje	69.91%					30.09%					

Nota: Elaboración propia (Ver anexo 02)

De la tabla 6 se obtiene que el IMDA tiene un valor de 1037.

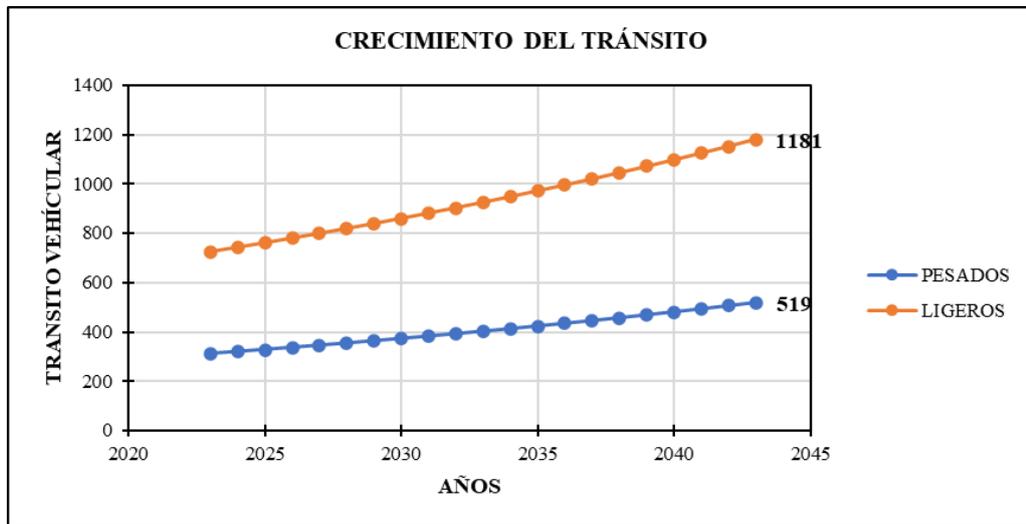
4.1.4. Proyección del tráfico.

Se efectuó proyecciones para cada tipo de vehículo (ligero y pesado) considerando una tasa anual de crecimiento, la ficha técnica estandar del MTC indica que la tasa de crecimiento anual para vehículos ligeros en la región de Puno es de 2.47% y 2.58% para vehiculos pesados. Según la p. 95 de la DG-2018 el periodo de diseño para el cálculo del crecimiento del tránsito es de 20 años y se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_f = P_o (1 + T_c)^n$$

Figura 50

Proyección del tráfico para vehículos ligeros y pesados.



Nota: Elaboración propia (Ver anexo 02).

De la figura 50 se concluye que el IMDA proyectado es de 1700 vehículos/día.

4.1.5. Verificación de la velocidad de diseño del tramo existente.

Se tiene como dato un estudio de velocidades que se realizó en el año 2023 en la progresiva Km 199+000 por parte de la empresa encargada del mantenimiento y operación de la vía, el cual se realizó considerando el empleo de videos DRONE. Para determinar la velocidad se realizaron marcas transversales en el pavimento cada 10m en una longitud de 40m, para luego en gabinete obtener el tiempo de paso de los vehículos entre las marcas y así poder determinar la velocidad. Adicional a ello se empleó un radar de mano tipo celular que no es percibido por el conductor y pasa inadvertido.

Figura 51

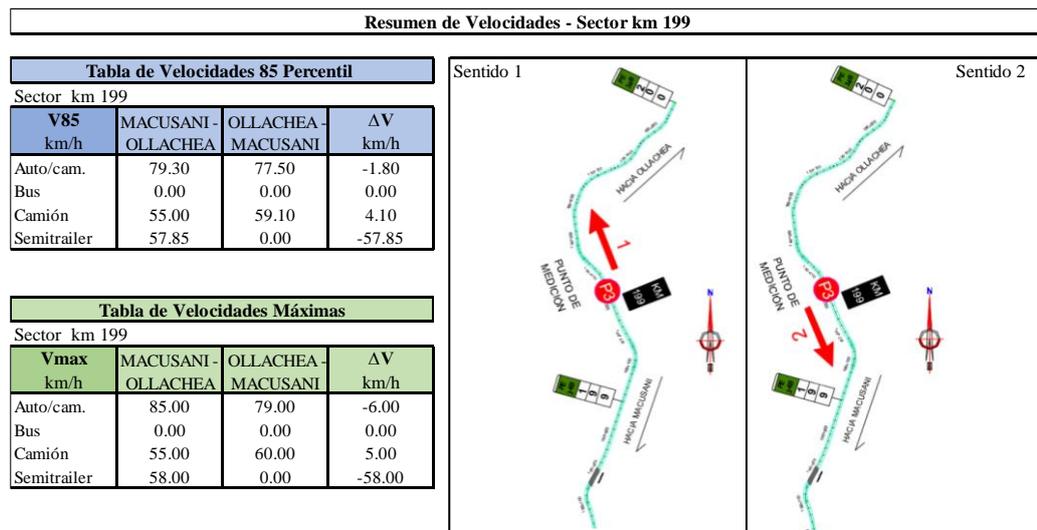
Marcas para el cálculo de velocidad con dron.



Nota: Adaptado del estudio de velocidad de la empresa concesionaria.

Figura 52

Resumen de las velocidades de operación.



Nota: Adaptado del estudio de velocidad de la empresa concesionaria.

En este ítem se precisa que la velocidad de operación en la que circulan los vehículos es superior a la velocidad de diseño que es de 30 Km/h (Fuente: Expediente técnico), los autos y camiones superan en 48 Km/h (160%) la velocidad de diseño, los camiones y semiremolques superan en 27 Km/h (90%) la velocidad de diseño.

4.1.6. Clasificación de la vía

4.1.6.1. Clasificación por demanda.

De acuerdo a la Figura 50 la vía tiene un IMDA de 1700 vehículos/día, por lo cual se clasifica como una carretera de segunda clase.

Tabla 7

Resultado clasificación por demanda.

IMDA (Veh/día)		CLASIFICACION
>6000		Autopista de primera clase
>=4001	<=6000	Autopista de segunda clase
>=2001	<=4000	Carretera de primera clase
>=400	<=2000	Carretera de segunda clase
	<400	Carretera de tercera clase

Nota: Elaboración propia (Ver anexo 02).

4.1.6.2. Clasificación por orografía.

De acuerdo a la información topográfica del expediente técnico del proyecto de la carretera Macusani – Ollachea, la orografía del tramo en estudio se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 8

Resultado clasificación por orografía.

PROGRESIVA		OROGRAFÍA*	OBSERVACIÓN
INICIO	FINAL		
182+250.00	184+250.00	PLANA	
184+250.00	188+600.00	PLANA	Termina en puente Tocco Tocco
188+600.00	193+000.00	ACCIDENTADA	
193+000.00	199+000.00	ACCIDENTADA	Termina en puente Huiquisa
199+000.00	214+000.00	ESCARPADA	
214+000.00	218+000.00	ESCARPADA	
218+000.00	221+200.00	ESCARPADA	
221+260.00	224+410.00	ESCARPADA	
224+300.00	230+500.00	ESCARPADA	
230+500.00	231+667.00	ESCARPADA	

Nota: Adaptado del expediente técnico de la carretera Macusani – Ollachea.



La tabla 8 indica que desde la ciudad de Macusani hasta el Puente tocco tocco (Progresiva 188+600) se tiene un terreno plano, desde el puente Tocco Tocco hasta el Puente Huiquisa (Progresiva 198+800) se tiene un terreno accidentado y desde el puente Huiquisa hasta la progresiva 231+667 el terreno es accidentado.

4.1.6.3. Velocidad de diseño según DG-2018.

De acuerdo a la DG-2018 la velocidad de diseño en función de la clasificación por demanda y orografía es la siguiente:

Tabla 9

Resultado velocidad de diseño.

PROGRESIVA		DG-2018
INICIO	FINAL	VELOCIDAD (Km/h)
182+250.00	184+250.00	60
184+250.00	188+600.00	60
188+600.00	193+000.00	50
193+000.00	199+000.00	50
199+000.00	214+000.00	40
214+000.00	218+000.00	40
218+000.00	221+200.00	40
221+260.00	224+410.00	40
224+300.00	230+500.00	40
230+500.00	231+667.00	40

Nota: Elaboración propia.

Estos valores que brinda la DG-2018 son menores de acuerdo al estudio de velocidad, sin embargo serán considerados para la verificación de los elementos geométricos.

4.1.7. Verificación de los parámetros geométricos de la carretera existente

Km 183+720-Km 231+667.

Los planos del eje de la carretera existente entre las progresivas Km 183+720 – 231+667 se encuentran en el ANEXO 03. Estos planos se encuentran con su tabla de elementos geométricos.

4.1.7.1. Verificación de elementos en planta (curva).

- **Verificación del radio mínimo.**

Para la verificación del radio mínimo se hace uso de la fórmula n° 11 (Radio mínimo en curvas circulares-DG 2018) para un peralte máximo de 8% y velocidad entre 40, 50 y 60 Km/h según corresponda.

El radio mínimo calculado para una velocidad de 60 Km/h es de 123m, para una velocidad de 50 Km/h es de 82m y para una velocidad de 40 Km/h es de 50m.

Esta verificación se realizó en las 330 curvas circulares simples y compuestas que se encuentra en el tramo en estudio teniendo los siguientes resultados: (Ver anexo 04).

Tabla 10

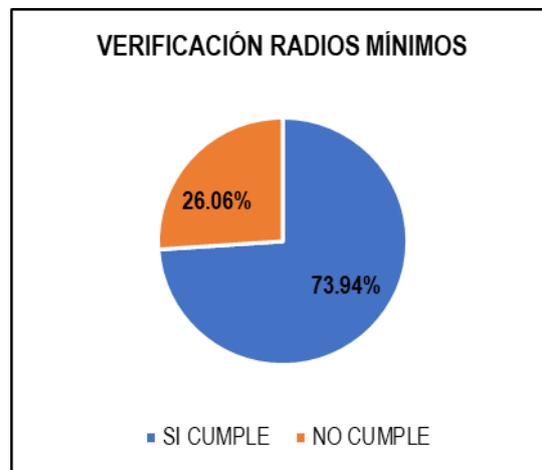
Resumen verificación de radio mínimo en curvas circulares

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	73.94%	244
No Cumple	26.06%	86
Total	100.00%	330

Nota: Elaboración propia

Figura 53

Resultados verificación del radio mínimo.



Nota: Elaboración propia.

De los gráficos se concluye que el 73.94% de las curvas del tramo existente cumplen con el criterio de la normativa DG-2018.

- **Verificación de curvas simples que prescinden de la curva de transición.**

Para la verificación de esta parte de la investigación se utilizó la figura 12, en donde indica que para una velocidad de 40 Km/h, el radio mínimo que permite prescindir de una curva de transición es de 150m, para una velocidad de 50 Km/h es de 225m y para una velocidad de 60 Km/h es de 325m.

Esta verificación se realizó en las 174 curvas simples que se encuentran en el tramo en estudio teniendo los siguientes resultados: (ver Anexo 04).

Tabla 11

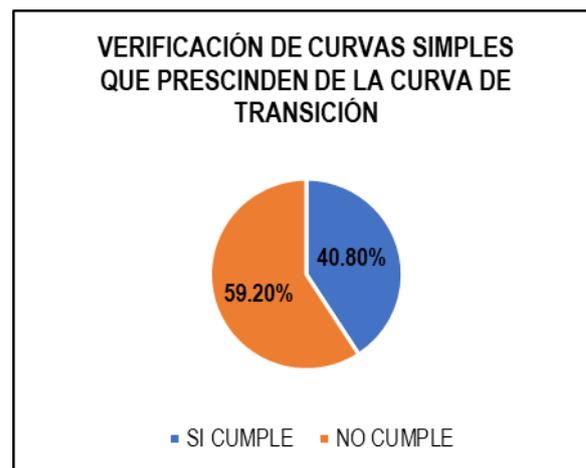
Resumen verificación en curvas simples que prescinden de la curva de transición

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	40.80%	71
No Cumple	59.20%	103
Total	100.00%	174

Nota: Elaboración propia

Figura 54

Resultados verificación de curvas simples que prescinden de la curva de transición



Nota: Elaboración propia.

De los gráficos se concluye que que el 73.94% de las curvas del tramo existente cumplen con el criterio de la normativa DG-2018.

- **Verificación de longitud mínima de curva para ángulos de deflexión menores a 5°.**

Para la verificación de este ítem se usará la información de la figura 5, en donde indica que la longitud mínima de curva L para una carretera de dos carriles que tienen ángulo de deflexión menor a 5° es lo siguiente:

$$L_{\min} = 3V$$

En el alineamiento del tramo en estudio se tiene 6 PI (Punto de inflexión) que tienen el ángulo de deflexión menor a 5° , se verificó la longitud de curva teniendo los siguientes resultados: (Ver anexo 04).

Tabla 12

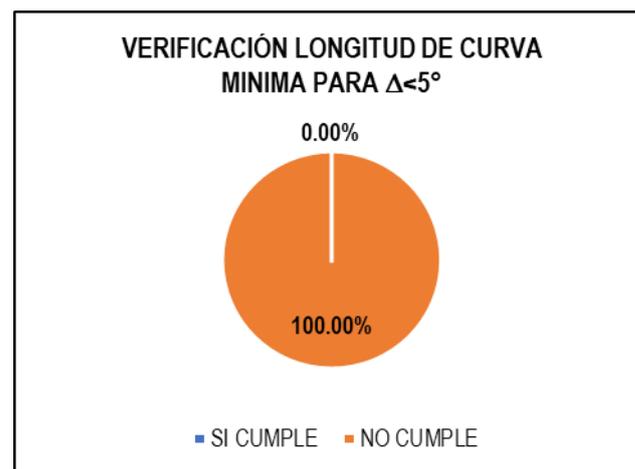
Resumen verificación longitud mínima de curva para $\Delta < 5^\circ$

PI	Δ	L curva	Velocidad	DG-2018	
				L min	Verificación
PI-1	3° 57' 17.62"	20.708	60	180	No cumple
PI-2	3° 50' 57.62"	20.155	60	180	No cumple
PI-4	4° 03' 22.85"	21.239	60	180	No cumple
PI-295	3° 32' 06.42"	27.765	40	120	No cumple
PI-350	4° 52' 53.13"	34.079	40	120	No cumple
PI-352	2° 30' 29.96"	21.889	40	120	No cumple

Nota: Elaboración propia.

Figura 55

Resultados verificación de longitud mínima de curva para $\Delta < 5^\circ$



Nota: Elaboración propia.

- **Verificación de longitud mínima para el desarrollo de peralte en curvas con transición.**



Para la verificación de este ítem se aplicará lo indicado en la norma DG-2018, la longitud mínima en metros para desarrollar el peralte máximo es igual a $V/3.6$ que es igual a la longitud recorrida a una velocidad V durante 1 segundo.

La longitud mínima para una velocidad de 60 Km/h es de 16.67m, para una velocidad de 50 Km/h es de 13.89m y para una velocidad de 40 Km/h es de 13.89m.

En el caso de curvas compuestas el peralte total se desarrolla dentro de la curva circular, en el tramo en estudio se tiene 196 curvas compuestas en los que se verificó su longitud teniendo los siguientes resultados: (Ver anexo 04).

Tabla 13

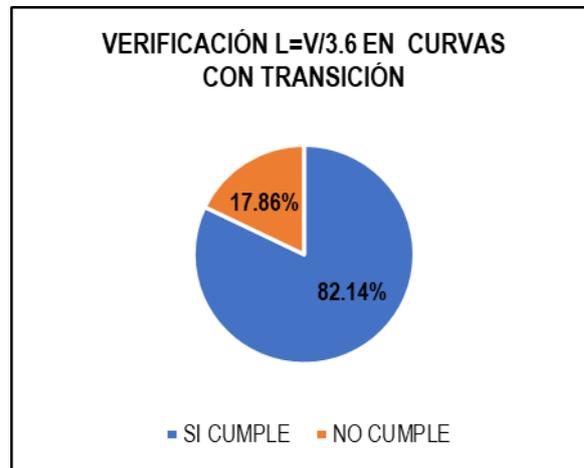
Resumen verificación L_{min} de curva para desarrollo de peralte.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	82.14%	161
No Cumple	17.86%	35
Total	100.00%	196

Nota: Elaboración propia

Figura 56

Resultados verificación Lmin de curva para desarrollo de peralte.



Nota: Elaboración propia

4.1.7.2. Verificación elementos en planta (espiral).

- Verificación longitud de la espiral.

Para la verificación de este ítem se tiene en consideración lo indicado en la DG-2018 en donde indica que la longitud mínima de la curva de espiral es de 30m.

En el tramo en estudio se tiene 350 espirales en donde se verificó la longitud teniendo los siguientes resultados: (ver Anexo 04).

Tabla 14

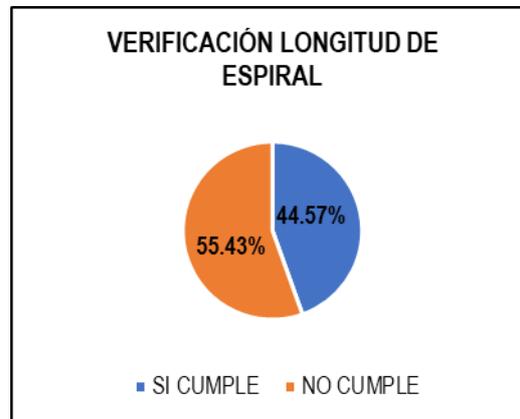
Resumen verificación longitud de espiral

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	44.57%	156
No Cumple	55.43%	194
Total	100.00%	350

Nota: Elaboración propia

Figura 57

Resultados verificación longitud de espiral.



Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 57 se tiene que el 44.57% no cumple con la longitud mínima de transición ya que en el tramo existente se tiene espirales con longitudes de hasta 20m.

- **Verificación de la condición de estética y guiado óptico.**

Para evaluar este parámetro se usará la fórmula 24 ($R/3 \leq A \leq R$) que es una restricción que en caso se cumpla garantiza que el conductor perciba la presencia de una curva de transición.

Se evaluó este parámetro en las 350 espirales que tiene la carretera en estudio obteniendo los siguientes resultados: (Ver Anexo 04).

Tabla 15

Resumen verificación condición estética y guiado óptico en espirales.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	83.43%	292
No Cumple	16.57%	58
Total	100.00%	350

Nota: Elaboración propia.

Figura 58

Resultados verificación condición de estética y guiado óptico.



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 58 se tiene que el 16.57% no cumple con la restricción, esto generalmente se da en curvas donde el radio es menor que la longitud de la espiral o cuando el radio es mayor que 9 veces la longitud de la espiral.

$$\frac{R}{3} \leq \sqrt{RL} \leq R$$

4.1.7.3. Verificación elementos en planta (tangente).

- **Verificación de ángulos de deflexión que no requieren curvas horizontales.**

Para la verificación de este parámetro utilizaremos la figura 6 en donde indica los valores de ángulos de deflexión máximos que puede tener el PI de un alineamiento sin usar una curva circular.

En el tramo de estudio se tiene en total 19 PI que no tienen curva circular los cuales serán verificados de acuerdo a la figura 6 obteniendo los siguientes resultados: (Ver anexo 04).

Tabla 16

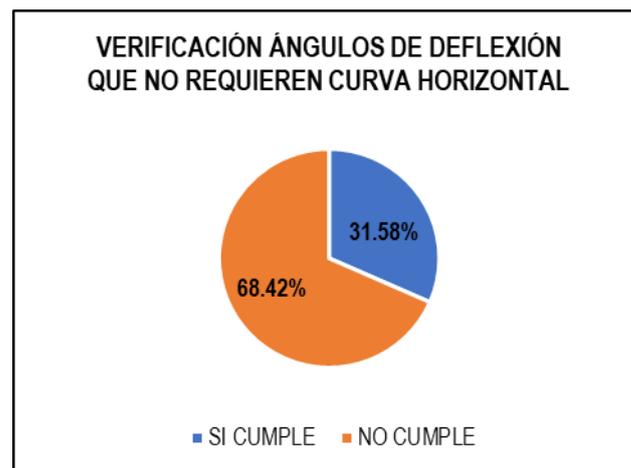
Resumen verificación ángulos de deflexión que no requieren curva horizontal

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	31.58%	6
No Cumple	68.42%	13
Total	100.00%	19

Nota: Elaboración propia.

Figura 59

Resultados verificación ángulos de deflexión que no requieren curva horizontal.



Nota: Elaboración propia.

- Verificación de longitud mínima y máxima en tangente.

Para la verificación de este ítem se aplicó la fórmula 3, 4 y 5 que precisan las longitudes mínimas y máximas para elementos en tangente en S y en O, además según la p. 98 de la DG-2018 indica que la longitud de un segmento en tangente se define como la distancia horizontal entre los puntos medios de las espirales de las curvas al inicio y al final del segmento si estas son espiralizadas, o entre el PT y el PC de las curvas si son circulares.



Aplicando la fórmula 3, 4 y 5 se tiene los siguientes valores:

Tabla 17

Resumen cálculo de la longitud mínima y máxima en tangente

Velocidad	Lmin.s	Lmin.o	Lmax
60 Km/h	83.40m	166.80m	1002m
50 Km/h	69.50m	139.00m	835m
40 Km/h	55.60m	111.20m	668m

Nota: Elaboración propia.

Se evaluó estos valores para 335 segmentos en tangente que se encuentran en el tramo existente obteniendo los siguientes resultados: (Ver anexo 04).

Tabla 18

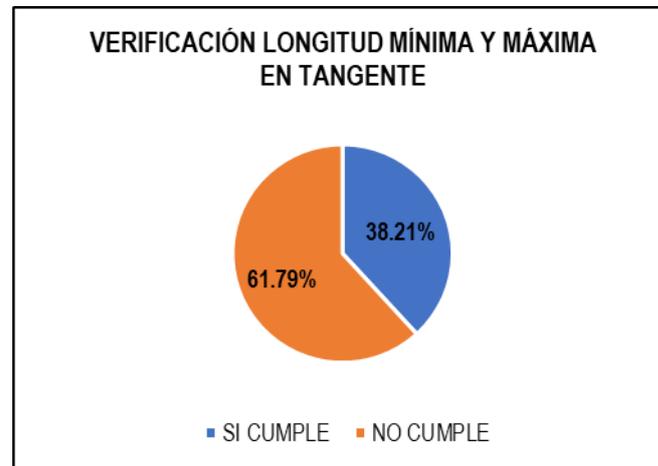
Resumen verificación longitud mínima y máxima en tangente

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	38.21%	128
No Cumple	61.79%	207
Total	100.00%	335

Nota: Elaboración propia.

Figura 60

Resultados verificación longitud mínima y máxima en tangente



Nota: Elaboración propia.

4.1.7.4. Verificación elementos en perfil

- Verificación de pendiente máxima

Para la verificación de este ítem se usó la figura 27 que indica el valor de la pendiente máxima en función a la clasificación de la carretera por demanda, clasificación por orografía y la velocidad de diseño, se debe precisar también que desde el PVI-1 hasta el PVI-164 se redujó el valor de la pendiente en 1% al encontrarse el trazo en terreno accidentado y una cota superior a los 3000 msnm. (Ver Anexo 05).

De acuerdo a lo indicado en el párrafo anterior se tiene los siguientes valores:

Tabla 19

Resumen valores de pendiente máxima

PVI	Velocidad	Cota	Orografía	Pendiente Máxima
PVI-1 a PVI-19	60 Km/h	> 3000 msnm	Plano (Tipo 1)	6%

PVI	Velocidad	Cota	Orografía	Pendiente Máxima
PVI-20 a PVI-52	50 Km/h	> 3000 msnm	Accidentado (Tipo 3)	7%
PVI-53 a PVI-163	40 Km/h	> 3000 msnm	Escarpado (Tipo 4)	8%
PVI-163 a PVI-182	40 Km/h	< 3000 msnm	Escarpado (Tipo 4)	9%

Nota: Elaboración propia

Se evaluó estos valores para la pendiente de entrada y salida de los 137 PVI que contiene el tramo en estudio obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20

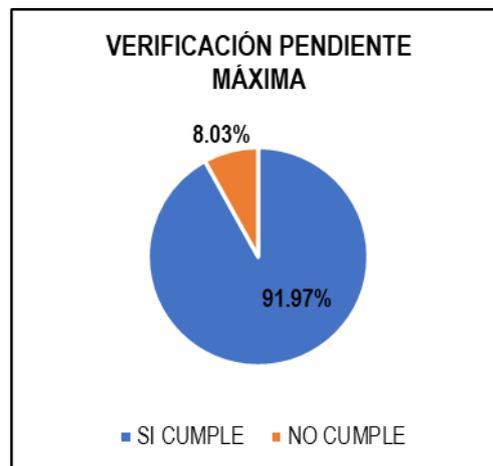
Resumen verificación pendiente máxima

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	91.97%	126
No Cumple	8.03%	11
Total	100.00%	137

Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Resultados verificación pendiente máxima



Nota: Elaboración propia

- **Verificación de longitud de curva simétrica convexa.**



Para la verificación de este ítem, primero se calculó el valor de la distancia de parada con la fórmula n° 2 (D_p) tanto para la pendiente de entrada y pendiente de salida de la curva vertical.

Según la DG-2018 para el cálculo de la longitud de la curva convexa se tiene en consideración el criterio de seguridad que indica que a lo largo de toda su extensión la distancia de visibilidad debe ser igual o superior a la distancia de parada, para lo cual se aplicó la fórmula 48 ($D_p < L$) y 49 ($D_p > L$) según corresponda. (Ver Anexo 05).

Realizando los cálculos (Ver anexo 05), se tiene que de las 66 curvas convexas que existen en el tramo en estudio, la curva convexa PVI-68 cumple para $D_p < L$, el resto de las curvas cumplen para $D_p > L$, sin embargo en algunos casos al aplicar la fórmula 49 nos brinda valores negativos que indica que por razones de visibilidad no es necesario una curva vertical. En este caso se recomienda que la curva tenga una longitud mínima en función de la velocidad ($L=6V$) que será necesario para la estabilidad de los vehículos. (Choconta, 2008).

Tabla 21

Resumen verificación longitud de curva convexa

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	100.00%	66
No Cumple	0.00%	0
Total	100.00%	66

Nota: Elaboración propia

Figura 62

Resultados verificación longitud de curva convexa



Nota: Elaboración propia

- Verificación de longitud de curva simétrica cóncava

Para la verificación de este ítem también se calculó el valor de la distancia de visibilidad de parada con la fórmula n° 2 (D_p) tanto para la pendiente de entrada y pendiente de salida de la curva vertical cóncava.

Adicional a ello se utilizó la fórmula 50 ($D_p < L$) y 51 ($D_p > L$) que corresponden al criterio de seguridad de la distancia de visibilidad nocturna. (Ver Anexo 05).

Aplicando las fórmulas se tiene que de las 71 curvas cóncavas que existen en el tramo en estudio, la curva cóncava PVI-20, PVI-59 y PVI-176 cumplen para $D_p < L$, el resto de curvas cumplen para curvas $D_p > L$. Al igual que las curvas convexas al aplicar la fórmula 51 en algunos casos nos brinda valores negativos, en las cuales no es necesaria una curva vertical por motivos de visibilidad, sin embargo se debe aplicar la fórmula de la longitud mínima de cualquier curva vertical (Fórmula 52).

Tabla 22

Resumen verificación longitud de curva cóncava.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	100.00%	71
No Cumple	0.00%	0
Total	100.00%	71

Nota: Elaboración propia

Figura 63

Resultados verificación longitud de curva cóncava.



Nota: Elaboración propia

4.1.7.5. Verificación elementos en sección transversal

- Verificación del ancho de carril.

Para la verificación del ancho de carril se utilizó la figura 27 en donde se encuentra el ancho mínimo de la calzada en tangente en función de la clasificación por demanda, por orografía y la velocidad de diseño.

Con esta información se procedió a calcular el ancho mínimo del carril según la DG-2018 obteniendo el siguiente resultado: (Ver Anexo 06).



Tabla 23

Resumen valores de ancho de carril según DG-2018.

Velocidad	Tipo de carretera	IMDA proyectado	Orografía	Ancho de carril
60 Km/h	Segunda clase	1700	Plano (Tipo 1)	3.60m
50 Km/h	Segunda clase	1700	Accidentado (Tipo 3)	3.30m
40 Km/h	Segunda clase	1700	Escarpado (Tipo 4)	3.30m

Nota: Elaboración propia

Se realizó la revisión del ancho de carril en todo el tramo en estudio teniendo una medida de 3.00m, lo cual es inferior a lo requerido actualmente por la DG-2018.

Tabla 24

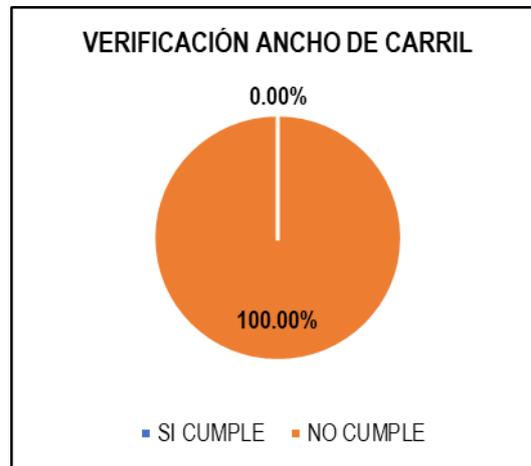
Resumen verificación ancho de carril.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	0.00%	0
No Cumple	1000.00%	370
Total	100.00%	370

Nota: Elaboración propia

Figura 64

Resultados verificación ancho de carril.



Nota: Elaboración propia

El ancho del carril existente en todo el tramo en estudio no cumple el mínimo que se requiere según la DG-2018.

- **Verificación del ancho de berma.**

Para la verificación del ancho de berma se utilizó la figura 28 en donde indica el valor del ancho de la berma que se encuentra en función de la clasificación por demanda, la orografía de la carretera y la velocidad de diseño. Aplicando de acuerdo a nuestros datos el valor de la berma es lo siguiente: (Ver anexo 06).

Tabla 25

Resumen valores de ancho de berma según DG-2018.

Velocidad	Tipo de carretera	IMDA proyectado	Orografía	Ancho de berma
60 Km/h	Segunda clase	1700	Plano (Tipo 1)	2.00m
50 Km/h	Segunda clase	1700	Accidentado (Tipo 3)	1.20m
40 Km/h	Segunda clase	1700	Escarpado (Tipo 4)	1.20m

Nota: Elaboración propia

Se realizó la verificación del ancho de berma en todo el tramo en estudio teniendo una medida de 0.70m, lo cual incumple lo requerido actualmente por la DG-2018.

Tabla 26

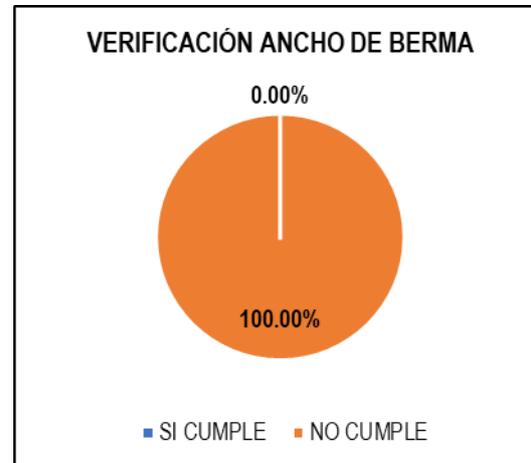
Resumen verificación ancho de berma.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	0.00%	0
No Cumple	1000.00%	370
Total	100.00%	370

Nota: Elaboración propia.

Figura 65

Resultados verificación ancho de berma.



Nota: Elaboración propia

- **Verificación del valor del peralte.**

Para la verificación del peralte, se aplicó la figura 31, en donde indica que para una zona rural con terreno plano, accidentado o escarpado el peralte máximo absoluto es de 8%.

Para el caso de las curvas que tengan radios superiores al mínimo se utilizó el gráfico de la figura 33 que nos permite obtener el valor del peralte.

Se calculó el valor del peralte para las 370 curvas que se encuentran en el tramo en estudio (Ver Anexo 06) teniendo los siguientes resultados:

Tabla 27

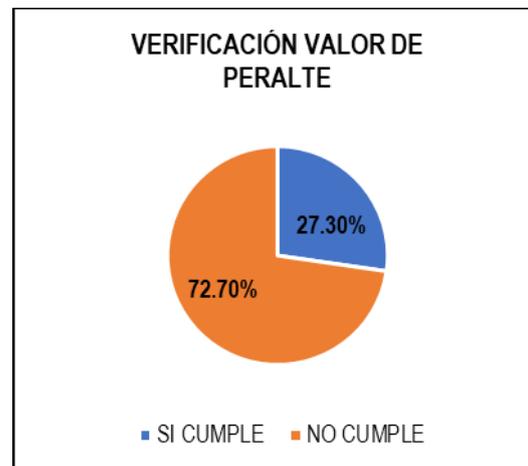
Resumen verificación valor de peralte.

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	27.30%	101
No Cumple	72.70%	269
Total	100.00%	370

Nota: Elaboración propia

Figura 66

Resultados verificación valor de peralte



Nota: Elaboración propia.

Se aprecia que el 72.70% de las curvas que existen en el tramo en estudio no cumplen el valor del peralte, ya que en campo estos valores son menores a lo que se requiere según la DG-2018.

- **Verificación del valor del sobreechancho.**

Para la verificación de los valores del sobreebancho, se debe tener en cuenta que según el estudio de tráfico el 29.81% de los vehículos corresponden a los vehículos de 6 ejes (semiremolque T3S3), 7.69% al vehículo de 5 ejes (Semiremolque T3S2) y 5.45% al vehículo de 4 ejes. (Semieremolque T2S2).

Además se verificó en campo que cuando estos semiremolques ingresan a las curvas de volteo invaden ambos carriles siendo un peligro para los vehículos que van en sentido contrario pudiendo causar accidentes con consecuencias fatales. (Ver figura 67).

Figura 67

Invasión del segundo carril por el vehículo tipo semirremolque.



Nota: Curva de volteo ubicada en la progresiva 220+150.

Por lo cual se verificó los sobreebanchos del tramo en estudio considerando un vehículo articulado T3S3 (Ver anexo 06), para lo cual se aplicó la fórmula 26 y 27, también se indica que el reglamento DG-2018 no considera la normativa o el procedimiento para el cálculo de sobreebanchos de vehículos articulados, por lo cual se recurrió a normas

internacionales teniendo como mejor resultado la norma AASHTO 2011
obteniéndose lo siguiente:

Tabla 28

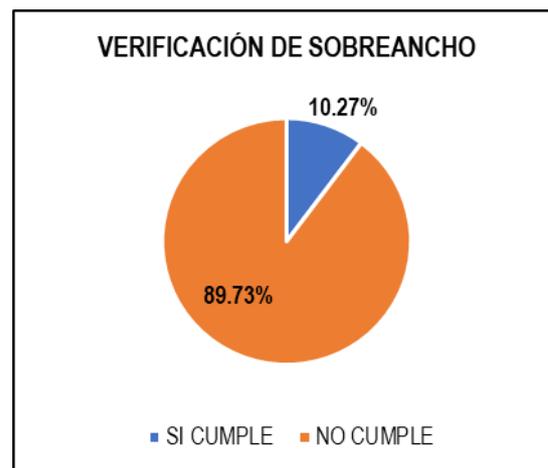
Resumen verificación valor de sobreancho

Cumplimiento	Porcentaje	Cantidad
Si Cumple	10.27%	38
No Cumple	89.73%	332
Total	100.00%	370

Nota: Elaboración propia

Figura 68

Resultados verificación del valor del sobreancho.



Nota: Elaboración propia

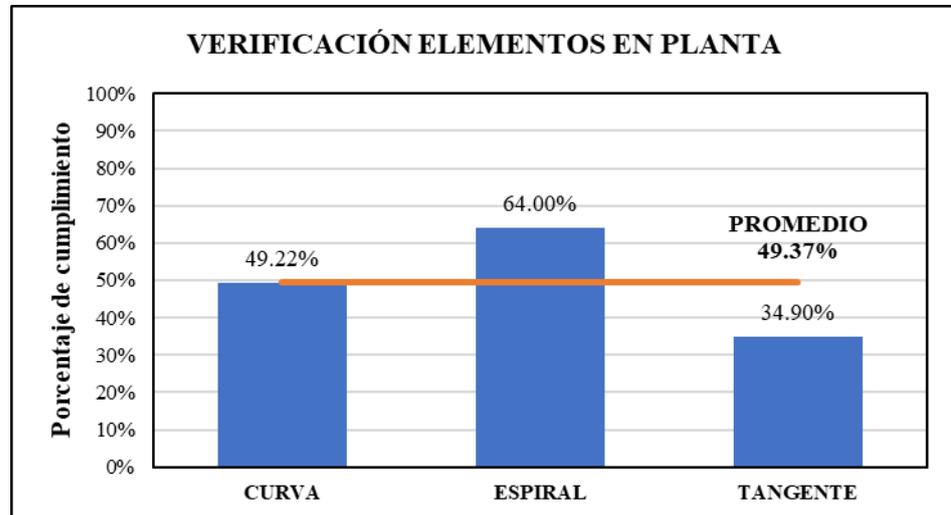
4.1.8. Resumen de los resultados hipótesis 1

A continuación se detalla el resumen de los resultados de la verificación de los parámetros geométricos de la carretera interoceánica sur tramo IV Km 183+720-231+667 según la DG-2018.

4.1.8.1. Resumen verificación en planta

Figura 69

Resumen verificación en planta.

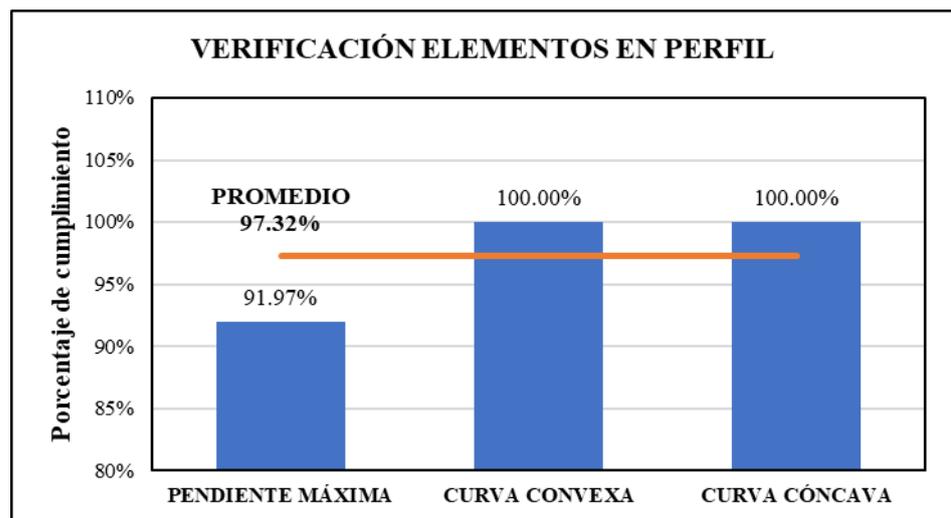


Nota: Elaboración propia

4.1.8.2. Resumen verificación en perfil

Figura 70

Resumen verificación en perfil.

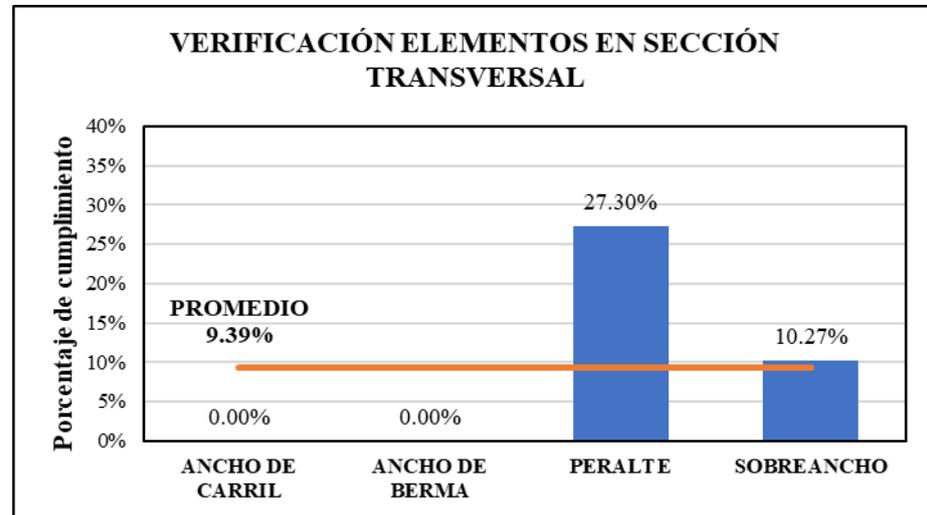


Nota: Elaboración propia

4.1.8.3. Resumen verificación en sección transversal.

Figura 71

Resumen verificación en sección transversal.

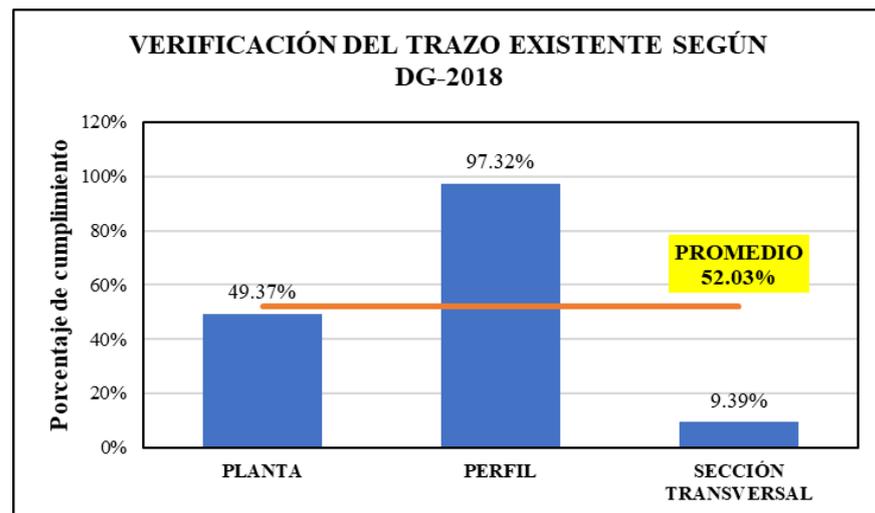


Nota: Elaboración propia.

4.1.8.4. Resumen general

Figura 72

Resumen verificación de los elementos geométricos.



Nota: Elaboración propia.



4.1.9. Resultado hipótesis 1

De acuerdo a la figura 72 se verifica que los parámetros geométricos de la carretera interoceánica sur tramo IV Km 183+720-231+667 solo cumple un promedio de 52.03% la normativa DG-2018.

4.2. VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

Para el estudio se planteó la siguiente hipótesis: La propuesta del mejoramiento de trazo cumplirá la norma DG-2018 en el sector observado de la carretera Interoceánica Sur tramo IV Km 183+720 – 231+667.

El tramo a realizar el nuevo trazo se realizó entre las progresivas Km 191+000 – Km 194+094.296, para lo cual se realizó el levantamiento topográfico con estación total.

4.2.1. Levantamiento topográfico

El 17 de diciembre de 2023 se realizó el levantamiento topográfico con estación total Leica TS06 PLUS 1” R1000 serie 1303686 entre las progresivas Km 191+000 hasta el Km 194+094.296 de la ruta PE34B utilizando los BM que pertenecen a la carretera existente. (Ver anexo 07).

La información de los BM fueron proporcionados por la sala técnica de la empresa concesionaria, los cuales fueron ubicados en campo el día del levantamiento. Los BM son los siguientes:

Tabla 29

Lista de BM entre Km 191 al Km 194.

LISTA DE BM UTILIZADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO COORDENADAS UTM WGS84					
BM ID	ZONA 19 SUR		ALTITUD COTA/NIV.	PROGRESIVA	FOTOGRAFÍA
	NORTE	ESTE			
4270 HSA	8450115.247	342086.416	4236.861	190+932.385	
4271	8450378.731	341732.480	4230.208	191+407.173	
4272	8450641.212	341280.366	4215.460	192+005.424	
4273	8450912.549	340919.613	4196.425	192+470.615	
Z039	8451257.738	340865.747	4181.796	192+853.977	
CF27	8451712.388	340305.421	4172.939	193+883.431	

Nota: Elaboración propia.

Figura 73

Levantamiento topográfico.



Nota: Elaboración propia.

Los puntos levantados, el plano de la ubicación de los BM, el certificado del equipo de calibración y el panel fotográfico se encuentra en el Anexo 07.

4.2.2. Diseño de trazo nuevo entre las progresivas Km 191+000 – Km 194+094.296 según la DG-2018.

Se procesó la información topográfica con el software Civil 3D 2025, y se realizó el diseño del nuevo eje geométrico entre las progresivas Km 191+000 – Km 194+094.296 de acuerdo a las indicaciones de la DG-2018. (Ver Anexo 08).

4.2.2.1. Clasificación de la carretera

- **Clasificación de la carretera por demanda**

De acuerdo al estudio de tráfico el IMDA proyectado es de 1700 veh/día, lo cual según la clasificación por demanda de la DG-2018 el nuevo tramo corresponde a una carretera de segunda clase. (Ver Anexo 08).

Figura 74

Clasificación de la carretera (trazo nuevo) por demanda.

IMDA (Veh/día)		CLASIFICACION
>6000		Autopista de primera clase
>=4001	<=6000	Autopista de segunda clase
>=2001	<=4000	Carretera de primera clase
>=400	<=2000	Carretera de segunda clase
	<400	Carretera de tercera clase

Nota: Elaboración propia.

- Clasificación de la carretera por orografía.

De acuerdo a la topografía las pendientes transversales se encuentran entre 51 y 100% por lo que de acuerdo a la DG-2018 corresponde a una orografía tipo 3 - Terreno accidentado. Ver Anexo 08.

Figura 75

Clasificación de la carretera (trazo nuevo) por orografía.

PENDIENTES TRANSVERSALES		CLASIFICACION
>100		Terreno escarpado (Tipo 4)
>=51	<=100	Terreno accidentado (Tipo 3)
>=11	<=50	Terreno ondulado (Tipo 2)
	<=10	Terreno plano (Tipo 1)

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.2. Controles básicos

- Vehículo de diseño

Viendo el estudio de tráfico (Anexo 02) el vehículo de diseño es el T3S3 cuyas dimensiones se encuentran en la figura 47.

- **Velocidad de diseño**

Para el cálculo de la velocidad de diseño se utilizó la figura 4 que nos brinda el valor de la velocidad de diseño en función de la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

De acuerdo a la información de la figura 4, la velocidad de diseño se encuentra en un rango de 50 a 70 Km/h, para la presente investigación se adoptó una velocidad de 50 Km/h. (Ver Anexo 08).

Figura 76

Velocidad de diseño (trazo nuevo).

Tabla 204.01
Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

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

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.3. Diseño en planta.

- **Diseño de los elementos en curva (Ver Anexo 08).**



Para el nuevo trazo se diseñó en total 16 curvas, todas las curvas se encuentran espiralizadas.

Para la C1, C4 y C14 se consideró una velocidad de 40 Km/h que es menor a la de diseño, con el fin de que el radio mínimo sea mas compatible a la topografía existente, esta consideración se debe tener en cuenta al momento de señalizar la vía.

La C15 y C16 conforman una ovoide en donde comparten la espiral S-30, la norma DG-2018 considera una configuración recomendable el uso de las ovoides cuando se tiene curvas vecinas del mismo sentido. ´

De acuerdo a la DG-2018 se consideró como peralte máximo el valor de 8% (Ver figura 31), en donde indica que para una zona rural con terreno plano, accidentado o escarpado el peralte máximo absoluto es de 8%.

El procedimiento que se realizó para el diseño de una curva compuesta es el siguiente: (Ver Anexo 08).

- Se verificó que el radio colocado en el trazo de la vía cumpla el valor del radio mínimo de la DG-2018 (Se usó la fórmula 11).
- En caso el valor del radio sea mayor que el mínimo requerido se calculó el valor del peralte de acuerdo a la DG-2018 (Se usó la figura 33).
- Se verificó si la curva puede prescindir de una curva de transición.
- Se calculó el valor de la longitud de espiral mínima de acuerdo al radio y al peralte correspondiente, teniendo en cuenta que según la DG-2018 el valor mínimo es de 30m.



- Se verifica que la longitud de la curva tenga un valor mínimo de $V/3.6$ para que el desarrollo del peralte sea adecuado. (Según DG-2018).
- En caso de la C15 y C16 que conforman una ovoide se verifica que cumplan el criterio de la norma DG-2018.

$$R_1 > R_2$$

$$\frac{R_1}{3} \leq A1 \leq R_2$$

En la siguiente tabla, se muestra el resultado del diseño de las 16 curvas circulares (Ver Anexo 08).

Tabla 30

Resumen de elementos de curva circular (trazo nuevo).

Elemento	PI	Sentido	PI	Deflexión curva circular simple (Δ)	Radi o (R)	Longitud (L)	Longitud de cuerda (LC)	Inicio (PC/SC)	Final (PT/CS)	Velocidad
C1	PI-1	D	191+124.421	21° 07' 04.00"	120	44.229	43.979	191+102.053	191+146.282	50
C2	PI-2	I	191+342.298	45° 04' 41.54"	50	39.338	38.331	191+321.548	191+360.886	40
C3	PI-3	D	191+436.449	7° 58' 18.50"	100	13.913	13.902	191+429.481	191+443.394	50
C4	PI-4	D	191+629.102	20° 34' 41.93"	50	17.958	17.862	191+620.025	191+637.983	40
C5	PI-5	I	191+760.266	15° 39' 26.03"	120	32.792	32.69	191+743.767	191+776.560	50
C6	PI-6	D	191+859.896	9° 30' 46.85"	250	41.508	41.461	191+839.094	191+880.602	50
C7	PI-7	I	191+992.945	8° 39' 20.71"	140	21.150	21.13	191+982.350	192+003.500	50
C8	PI-8	D	192+086.371	8° 06' 16.86"	150	21.218	21.2	192+075.744	192+096.962	50
C9	PI-9	I	192+190.567	10° 03' 58.12"	150	26.353	26.319	192+177.356	192+203.709	50
C10	PI-10	D	192+450.684	34° 24' 45.29"	110	66.067	65.079	192+416.620	192+482.687	50
C11	PI-11	I	192+688.004	7° 12' 53.87"	200	25.185	25.168	192+675.395	192+700.580	50
C12	PI-12	D	192+788.947	8° 47' 08.70"	90	13.801	13.787	192+782.033	192+795.834	50
C13	PI-13	I	193+139.884	17° 45' 52.43"	200	62.010	61.762	193+108.628	193+170.638	50
C14	PI-14	I	193+385.009	75° 21' 37.87"	50	65.764	61.125	193+346.392	193+412.156	40
C15	PI-15	D	193+549.745	16° 51' 06.12"	170	50.000	49.82	193+524.564	193+574.564	50

Elemento	PI	Sentido	PI	Deflexión curva circular simple (Δ)	Radio (R)	Longitud (L)	Longitud de cuerda (LC)	Inicio (PC/SC)	Final (PT/CS)	Velocidad
C16	PI-16	D	193+949.718	111° 30' 06.03"	235	457.327	388.501	193+604.564	194+061.890	50

Nota: Elaboración propia.

- **Diseño de los elementos en espiral (Ver Anexo 08).**

Se diseñó en total 31 espirales, todas las curvas tienen una espiral de entrada y de salida con excepción de la curva C15 y C16 que tienen una espiral en común por ser una ovoide.

El procedimiento realizado para el diseño de una curva espiral es el siguiente: (Ver Anexo 08).

- En caso la curva sea espiralizada, se calcula el valor de la longitud de espiral mínima según la DG-2018 (Ver fórmula 23).
- En caso la longitud de la espiral mínima sea menor a 30m, se asumirá 30m. (de acuerdo a DG-2018).
- Se verificará la condición del criterio por estética y guiado óptico para curvas espirales según la fórmula 24.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado del diseño de las 31 curvas espirales (Ver Anexo 08).

Tabla 31

Resumen de elementos de espiral (trazo nuevo).

Elemento	Radio de Entrada	Radio de Salida	Longitud de Espiral	A	TS/CS	SC/ST	Tangente Corta (ST)	Tangente Larga (LT)	Velocidad
S-1	INFINITY	120	30	60	191+072.053	191+102.053	10.015	20.016	50
S-2	120	INFINITY	30	60	191+146.282	191+176.282	10.015	20.016	50
S-3	INFINITY	50	37.5	43.301	191+284.048	191+321.548	12.670	25.187	50
S-4	50	INFINITY	37.5	43.301	191+360.886	191+398.386	12.67	25.187	50
S-5	INFINITY	100	30	54.772	191+399.481	191+429.481	10.021	20.024	50



Elemento	Radio de Entrada	Radio de Salida	Longitud de Espiral	A	TS/CS	SC/ST	Tangente Corta (ST)	Tangente Larga (LT)	Velocidad
S-6	100	INFINITY	30	54.772	191+443.394	191+473.394	10.021	20.024	50
S-7	INFINITY	50	37.5	43.301	191+582.525	191+620.025	12.670	25.187	50
S-8	50	INFINITY	37.5	43.301	191+637.983	191+675.483	12.67	25.187	50
S-9	INFINITY	120	30	60	191+713.767	191+743.767	10.015	20.016	50
S-10	120	INFINITY	30	60	191+776.560	191+806.560	10.015	20.016	50
S-11	INFINITY	250	30	86.603	191+809.094	191+839.094	10.003	20.004	50
S-12	250	INFINITY	30	86.603	191+880.602	191+910.602	10.003	20.004	50
S-13	INFINITY	140	30	64.807	191+952.350	191+982.350	10.011	20.012	50
S-14	140	INFINITY	30	64.807	192+003.500	192+033.500	10.011	20.012	50
S-15	INFINITY	150	40	77.46	192+035.744	192+075.744	13.356	26.692	50
S-16	150	INFINITY	40	77.46	192+096.962	192+136.962	13.356	26.692	50
S-17	INFINITY	150	40	77.46	192+137.356	192+177.356	13.356	26.692	50
S-18	150	INFINITY	40	77.46	192+203.709	192+243.709	13.356	26.692	50
S-19	INFINITY	110	30	57.446	192+386.620	192+416.620	10.018	20.020	50
S-20	110	INFINITY	30	57.446	192+482.687	192+512.687	10.018	20.02	50
S-21	INFINITY	200	40	89.443	192+635.395	192+675.395	13.346	26.681	50
S-22	200	INFINITY	40	89.443	192+700.580	192+740.580	13.346	26.681	50
S-23	INFINITY	90	40	60	192+742.033	192+782.033	13.396	26.736	50
S-24	90	INFINITY	40	60	192+795.834	192+835.834	13.396	26.736	50
S-25	INFINITY	200	30	77.46	193+078.628	193+108.628	10.005	20.006	50
S-26	200	INFINITY	30	77.46	193+170.638	193+200.638	10.005	20.006	50
S-27	INFINITY	50	37.5	43.301	193+308.892	193+346.392	12.670	25.187	50
S-28	50	INFINITY	37.5	43.301	193+412.156	193+449.656	12.67	25.187	50
S-29	INFINITY	170	30	71.414	193+494.564	193+524.564	10.007	20.008	50
S-30	170	235	30	135.788	193+574.564	193+604.564	14.226	15.832	50
S-31	235.000	INFINITY	30	83.964	194+061.890	194+091.890	10.004	20.004	50

Nota: Elaboración propia.

- **Diseño de los elementos en tangente. (Ver Anexo 08).**

En el tramo Km 191+000 a Km 194+094.296 se diseñó 16 tangentes, de las cuales 12 de ellas son tangente para curva en S (Lmin.S) y 2 de ellas son tangente para curva en O (Lmin.O).

De acuerdo a la DG-2018 considera segmento en tangente a la distancia horizontal medida entre los puntos medios de las espirales de las curvas al inicio y al final del segmento si estas son espiralizadas o entre el PT y el PC de las curvas si con circulares, esta recomendación se aplicó para el diseño del segmentos en tangente.

De acuerdo a la DG-2018 en una curva de inflexión o una curva en “S”, se acepta una leve longitud de traslapes de las clotoides, la cual no debe superar: $\Delta L_{(m)} = 0.05 \frac{A_1 + A_2}{2}$, este criterio se aplicó para los segmentos en tangente L3, L6, L8, L9 y L12 (Ver Anexo 08).

El procedimiento realizado para el diseño de un segmento en tangente es el siguiente: (Ver Anexo 08).

- Se calculó el valor de la longitud mínima y máxima para tangente en “S” y en “O” de acuerdo a la DG-2018 (Ver fórmula 3, 4 y 5).
- Se verificó que el valor del segmento en tangente este dentro del rango que pide la norma DG-2018.
- Para las curvas de inflexión se verificó la longitud del traslape con la siguiente fórmula: $\Delta L_{(m)} = 0.05 \frac{A_1 + A_2}{2}$; en donde A_1 y A_2 es el parámetro de la espiral.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado del diseño de los 16 segmentos en tangente. (Ver Anexo 08).

Tabla 32

Resumen de elementos de segmentos en tangente (trazo nuevo).

Elemento	Long.	Sentido	V	Inicio	Final	Inicio X	Inicio Y	Final X	Final Y
L1	72.053	Inicio	50	191+000.000	191+072.053	342018.799	8450132.037	341955.120	8450165.751
L2	107.766	Lmin.S	50	191+176.282	191+284.048	341883.916	8450238.510	341835.562	8450334.819
L3	1.095	Lmin.S (Inflexión)	50	191+398.386	191+399.481	341743.12	8450367.22	341742.125	8450366.76
L4	109.131	Lmin.O	50	191+473.394	191+582.525	341670.772	8450351.426	341561.644	8450352.284
L5	38.284	Lmin.S	50	191+675.483	191+713.767	341489.216	8450397.939	341472.434	8450432.349
L6	2.534	Lmin.S	50	191+806.560	191+809.094	341412.611	8450501.19	341410.51	8450502.61



Elemento	Long.	Sentido	V	Inicio	Final	Inicio X	Inicio Y	Final X	Final Y
		(Inflexión)							
L7	41.747	Lmin.S	50	191+910.602	191+952.350	341335.707	8450570.470	341309.101	8450602.641
L8	2.245	Lmin.S (Inflexión)	50	192+033.500	192+035.744	341247.417	8450654.29	341245.463	8450655.4
L9	0.394	Lmin.S (Inflexión)	50	192+136.962	192+137.356	341170.092	8450721.3	341169.854	8450721.62
L10	142.910	Lmin.S	50	192+243.709	192+386.620	341089.630	8450789.374	340962.882	8450855.392
L11	122.708	Lmin.S	50	192+512.687	192+635.395	340889.581	8450951.03	340863.131	8451070.86
L12	1.454	Lmin.S (Inflexión)	50	192+740.580	192+742.033	340824.362	8451167.86	340823.611	8451169.1
L13	242.794	Lmin.S	50	192+835.834	193+078.628	340801.455	8451257.984	340814.704	8451500.416
L14	108.254	Lmin.O	50	193+200.638	193+308.892	340793.675	8451619.06	340750.976	8451718.53
L15	44.907	Lmin.S	50	193+449.656	193+494.564	340644.918	8451732.69	340617.001	8451697.52
L16	2.406	Final	50	194+091.890	194+094.296	340213.893	8451882.877	340214.069	8451885.276

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.4. Diseño en perfil (Ver Anexo 08)

Se diseñó el tramo (Km 191+000 – Km 194+094.296) con 8 curvas verticales simétricas de las cuales 03 son curvas convexas y 05 son curvas cóncavas.

Se calculó el valor de la pendiente máxima de acuerdo a la DG-2018 (Ver figura 18) que está en función de la velocidad, la orografía y la demanda obteniendo un valor de 8%, sin embargo el PVI de las 8 curvas verticales se encuentran en una altitud superior a los 3000 msnm, por lo cual según la DG-2018 la pendiente se reduce en 1%, por lo cual el valor de la pendiente máxima es 7%. (Ver Anexo 08).

El procedimiento realizado para el diseño de las curvas verticales es el siguiente: (Ver Anexo 08).

- Se calculó la distancia de parada de acuerdo a la DG-2018 (Ver fórmula 02) con las pendientes de entrada y salida de la curva vertical.

- Si la curva vertical es convexa se calculó la longitud mínima con la fórmula 48 y 49 según sea el caso.
- Si la curva vertical es cóncava se calculó la longitud mínima con la fórmula 50 y 51 según sea el caso.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado del diseño de las 08 curvas verticales (Ver Anexo 08).

Tabla 33

Resumen de elementos en perfil (Curvas verticales).

PVI	Tipo de Curva		Progresiva PVC	Progresiva PVI	Progresiva PVT	Cota PVI	Pendiente Inicio	Pendiente Final	Long.	K=L/A	V
PVI-1	Cóncava	Simétrica	191+186.579	191+286.579	191+386.579	4229.829	-2.475%	-0.122%	200	84.995	50
PVI-2	Convexa	Simétrica	191+407.436	191+447.436	191+487.436	4229.633	-0.122%	-2.908%	80	28.718	50
PVI-3	Cóncava	Simétrica	191+694.673	191+769.673	191+844.673	4220.262	-2.908%	-2.232%	150	221.787	50
PVI-4	Convexa	Simétrica	192+021.130	192+071.130	192+121.130	4213.534	-2.232%	-4.689%	100	40.702	50
PVI-5	Cóncava	Simétrica	192+350.670	192+390.670	192+430.670	4198.552	-4.689%	-2.147%	80	31.476	50
PVI-6	Cóncava	Simétrica	192+825.059	192+900.059	192+975.059	4187.615	-2.147%	-1.709%	150	342.594	50
PVI-7	Cóncava	Simétrica	193+604.200	193+644.200	193+684.200	4174.897	-1.709%	1.243%	80	27.096	50
PVI-8	Convexa	Simétrica	193+735.722	193+825.722	193+915.722	4177.154	1.243%	-1.966%	180	56.080	50

Nota: Elaboración propia.

4.2.2.5. Diseño en sección transversal

- **Ancho de calzada (Ver Anexo 08).**

El ancho de calzada se calculó de acuerdo a la DG-2018 (Ver figura 27). Según este gráfico el ancho de la calzada es de 6.60m.

Figura 77

Valor del ancho de calzada.

CLASIFICACIÓN	Carretera de segunda clase
OROGRAFÍA	Terreno accidentado (Tipo 3)
VELOCIDAD DE DISEÑO	50 Km/h
ANCHO DE CALZADA	6.6 m

Tabla 304.01
Anchos mínimos de calzada en tangente

Clasificación	Autopista												Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6,000				6,000 - 4,001				4,000-2,001				2,000-400				< 400							
	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase							
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Velocidad de diseño: 30km/h																					5.00	6.00		
40 km/h																								
50 km/h											7.20	7.20				6.60	6.60	6.60	6.60					
60 km/h																								
70 km/h																								
80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60								
90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20														
100 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20															
110 km/h	7.20	7.20			7.20																			
120 km/h	7.20	7.20			7.20																			
130 km/h	7.20																							

Notas:
a) Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)
b) En carreteras de Tercera Clase, excepcionalmente podrán utilizarse calzadas de hasta 500 m, con el correspondiente sustento técnico y económico

Nota: Elaboración propia.

- Ancho de berma (Ver Anexo 08)**

Se calculó el ancho de la berma de acuerdo a la DG-2018 (Ver figura 28), según este gráfico, el valor del ancho de la berma es de 1.20m.

Figura 78

Valor del ancho de berma.

CLASIFICACIÓN	Carretera de segunda clase
OROGRAFÍA	Terreno accidentado (Tipo 3)
VELOCIDAD DE DISEÑO	50 Km/h
ANCHO DE BERMA	1.2 m

Tabla 304.02
Ancho de bermas

Clasificación	Autopista												Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6,000				6,000 - 4001				4,000-2,001				2,000-400				< 400							
	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera Clase							
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Velocidad de diseño: 30 km/h																						0.50	0.50	
40 km/h																								
50 km/h																								
60 km/h																								
70 km/h																								
80 km/h	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00							
90 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00	3.00														
100 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00															
110 km/h	3.00	3.00			3.00																			
120 km/h	3.00	3.00			3.00																			
130 km/h	3.00																							

Notas:
a) Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)
b) Los anchos indicados en la tabla son para la berma lateral derecha, para la berma lateral izquierda es de 1,50 m para Autopistas de Primera Clase y 1.20 m para Autopistas de Segunda Clase
c) Para carreteras de Primera, Segunda y Tercera Clase, en casos excepcionales y con la debida justificación técnica, la Entidad Contratante podrá aprobar anchos de berma menores a los establecidos en la presente tabla, en tales casos, se preverá áreas de ensanche de la plataforma a cada lado de la carretera, destinadas al estacionamiento de vehículos en caso de emergencias, de acuerdo a lo previsto en el Régimen 304.1.2, debiendo reportar al órgano normativo del MTC.

Nota: Elaboración propia.

- **Valor del bombeo (Ver Anexo 08)**

El valor del bombeo se calculó de acuerdo a la DG-2018 (Ver figura 29). Se considera un valor de bombeo de 2.5%.

Figura 79

Valor del bombeo de la calzada.

TIPO DE SUPERFICIE	PRECIPITACIÓN	BOMBEO	Bombeo (%)	
			Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	Precipitación >500 mm/año	2.50%		
Tipo de Superficie	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año		
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.0	2.5		
Tratamiento superficial	2.5	2.5-3.0		
Afirmado	3.0-3.5	3.0-4.0		

Nota: Elaboración propia.

- **Peralte (Ver Anexo 08)**

El valor del peralte se calculó de acuerdo a la DG-2018, para radios que son mayores al mínimo se usó el gráfico de la figura 33.

El peralte calculado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 34

Valor del peralte.

Curva	Velocidad	Tipo de Curva	L.T. calculada	% de Peralte en tangente	Peralte	Bombeo
C1	50	COMPUESTA	30.00		7.20%	2.50%
C2	40	COMPUESTA	37.50		8.00%	2.50%
C3	50	COMPUESTA	30.00		7.80%	2.50%
C4	40	COMPUESTA	37.50		8.00%	2.50%
C5	50	COMPUESTA	30.00		7.20%	2.50%
C6	50	COMPUESTA	30.00		5.20%	2.50%
C7	50	COMPUESTA	30.00		6.80%	2.50%
C8	50	COMPUESTA	40.00		6.60%	2.50%
C9	50	COMPUESTA	40.00		6.60%	2.50%
C10	50	COMPUESTA	30.00		7.40%	2.50%
C11	50	COMPUESTA	40.00		5.60%	2.50%
C12	50	COMPUESTA	40.00		8.00%	2.50%
C13	50	COMPUESTA	30.00		5.60%	2.50%



Curva	Velocidad	Tipo de Curva	L.T. calculada	% de Peralte en tangente	Peralte	Bombeo
C14	40	COMPUESTA	37.50		8.00%	2.50%
C15	50	COMPUESTA	30.00		6.20%	2.50%
C16	50	COMPUESTA	30.00		5.20%	2.50%

Nota: Elaboración propia.

Al ser las curvas espiralizadas la transición del peralte se da en la curva espiral, esta transición se verificó de acuerdo a la DG-2018 (Ver fórmula 53 y 54) .

Tabla 35

Valor de la transición del peralte.

Curva	Ipmax (%)	B	L.T. mínima	Verificación	L.T. asumida
C1	1.30 %	3.3	18.28	OK	30.00
C2	1.40 %	3.3	18.86	OK	37.50
C3	1.30 %	3.3	19.80	OK	30.00
C4	1.40 %	3.3	18.86	OK	37.50
C5	1.30 %	3.3	18.28	OK	30.00
C6	1.30 %	3.3	13.20	OK	30.00
C7	1.30 %	3.3	17.26	OK	30.00
C8	1.30 %	3.3	16.75	OK	40.00
C9	1.30 %	3.3	16.75	OK	40.00
C10	1.30 %	3.3	18.78	OK	30.00
C11	1.30 %	3.3	14.22	OK	40.00
C12	1.30 %	3.3	20.31	OK	40.00
C13	1.30 %	3.3	14.22	OK	30.00
C14	1.40 %	3.3	18.86	OK	37.50
C15	1.30 %	3.3	15.74	OK	30.00
C16	1.30 %	3.3	13.20	OK	30.00

Nota: Elaboración propia.

La distribución del peralte se realizó de acuerdo a la DG-2018 (Ver figura 37).

- **Sobrancho (Ver Anexo 08)**

Se calculó el valor del sobreebanco para un vehículo articulado T3S3 aplicando las recomendaciones de la normativa AASHTO 2011. (Ver fórmula 26 y 27).

Las dimensiones del vehículo T3S3 están de acuerdo a la DG-2018.

Tabla 36

Resumen valor del sobreebanco para vehículo articulado.

n	A	L1	L2	L3	u	C	U	FA	Z	Wc	WT	Sobreebanco
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.314	0.060	0.456	8.000	6.6	1.400
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	4.338	0.144	0.566	10.200	6.6	3.600
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.458	0.072	0.500	8.300	6.6	1.700
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	4.338	0.144	0.566	10.200	6.6	3.600
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.314	0.060	0.456	8.000	6.6	1.400
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	2.942	0.029	0.316	7.100	6.6	0.500
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	2.942	0.029	0.316	7.100	6.6	0.500
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.170	0.048	0.408	7.600	6.6	1.000
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.170	0.048	0.408	7.600	6.6	1.000
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.379	0.065	0.477	8.200	6.6	1.600
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.027	0.036	0.354	7.300	6.6	0.700
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.554	0.080	0.527	8.600	6.6	2.000
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.027	0.036	0.354	7.300	6.6	0.700
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	4.338	0.144	0.566	10.200	6.6	3.600
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	3.103	0.042	0.383	7.500	6.6	0.900
2	1.2	5.40	0	11.90	2.60	0.4	2.964	0.031	0.326	7.100	6.6	0.500

Nota: Elaboración propia.

La transición del sobreebanco se da en la misma longitud que la transición del peralte, la distribución es de forma lineal.

4.2.3. Simulación del trazo nuevo Km 191+000 al Km 194+094.296.

Se realizó el modelamiento de la vía con el software Infracore 2025, este software nos permite explorar visualmente el diseño planteado.

Figura 80

Visualización de la vía (Trazo nuevo).



Nota: Elaboración propia.

Los planos de este nuevo diseño (Planta, perfil y sección transversal), se encuentran en el Anexo 09.

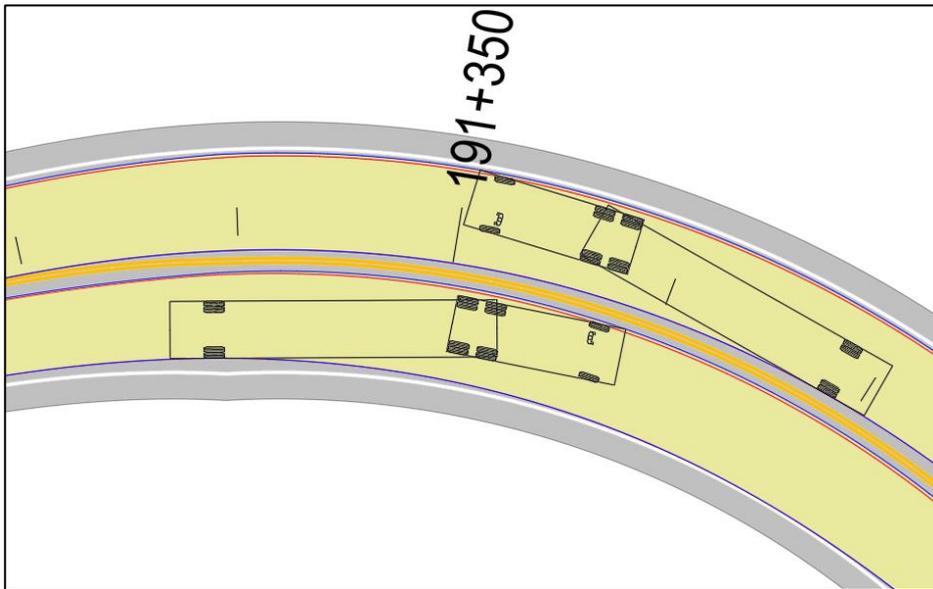
4.2.4. Modelamiento con software vehicle tracking en el trazo nuevo Km 191+000 al Km 194+094.296

Se realizó una simulación de la trayectoria recorrida por el vehículo T3S3 con el fin de comprobar el valor del sobreechancho en las curvas horizontales.

El plano del recorrido de la trayectoria del vehículo T3S3 se encuentra en el Anexo 10.

Figura 81

Recorrido del vehículo T3S3 en la progresiva 191+350.



Nota: Elaboración propia.

4.2.5. Resultados hipótesis 2

El mejoramiento del trazo se dio entre las progresivas Km 191+000 al Km 194+094.296, en la cual se verificó en planta, perfil y sección transversal (Ver Anexo 8) que el nuevo diseño cumple lo requerido por la norma DG-2018.

4.3. VERIFICACIÓN HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3

Para el estudio se planteó la siguiente hipótesis: La influencia del costo del mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 es menor frente a un diseño nuevo.

Para la verificación de esta hipótesis se consideró la comparativa de precios a nivel de pavimento.



4.3.1. Estimación de costos de mantenimiento entre la progresiva Km

191+000 – Km 194+094.296.

El mantenimiento periódico común que se realiza en la vía es un tratamiento superficial con micropavimento, fresados de 40 a 75 mm, tratamiento de fisuras con emulsión asfáltica, colocado de mezcla asfáltica en caliente, tratamiento de ahuellamientos con micropavimento, imprimación asfáltica, aplicación de riego de liga y reconformación de base granular.

Se tiene como información que el costo por kilómetro de este tipo de mantenimiento es de \$37208.77.

Nuestro tramo de diseño nuevo tiene una longitud de 3.09 Km, lo cual realizarlo un mantenimiento tendría un costo de \$115,134.95. (Ver Anexo 11).

4.3.2. Estimación de costos de pavimento nuevo entre la progresiva Km

191+000 – Km 194+094.296.

Se calculó el costo de la pavimentación del trazo nuevo, considerando un paquete estructural de subbase 15cm, base 15cm, asfalto 7.5cm. Los metrados se encuentran en el Anexo 11.

El costo de la pavimentación nueva es el siguiente:

Figura 82

Resumen presupuesto pavimentación nueva.

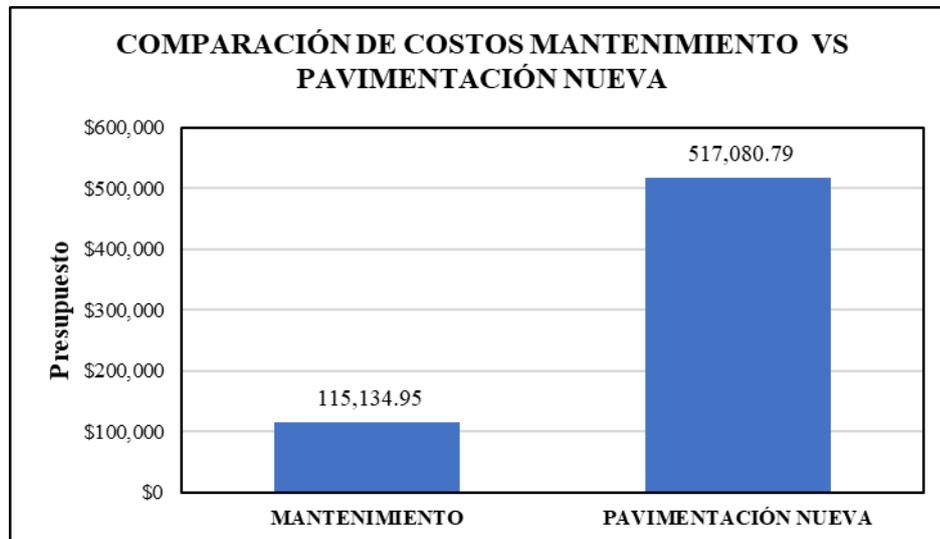
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P.U. (\$)	PARCIAL
01	BASES Y SUBBASES				156,423.61
01.01	Sub Base Granular	M3	4,900.91	10.01	49,058.11
01.02	Base Granular	M3	4,688.45	22.90	107,365.51
02	PAVIMENTO ASFÁLTICO				360,657.18
02.01	Imprimación asfáltica	M2	29,739.18	0.25	7,434.80
02.02	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	M3	2,264.56	55.58	125,863.97
02.03	Asfalto diluido tipo MC-30	GLN	9,427.32	2.29	21,588.56
02.04	Cemento asfáltico PEN 85/100	GLN	84,422.80	2.10	177,287.88
02.05	Filler mineral	TON	54.35	176.43	9,588.85
02.06	Aditivo para asfalto	KG	3,122.83	6.05	18,893.12
TOTAL CONFORMACIÓN DE PAVIMENTO NUEVO					517,080.79

Nota: Elaboración propia.

4.3.3. Resultados hipótesis 3

Figura 83

Resumen valor del sobreancho para vehículo articulado.



Nota: Elaboración propia.

Viendo el gráfico anterior, la influencia del costo del mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 frente a un diseño nuevo es el 22.27%.



V. CONCLUSIONES

Se evaluó los parámetros geométricos de la carretera Interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720 – Km 231+667 en función a la normativa DG-2018 llegando a las siguientes conclusiones:

PRIMERA: En conclusión, se verificó que la carretera interoceánica Sur Tramo IV Km 183+720-231+667 solamente cumple un 52.03% la normativa DG-2018, los elementos en planta cumplen la DG-2018 un 49.37%, los elementos en perfil cumplen un 97.32% y los elementos en sección transversal un 9.39%.

SEGUNDA: En conclusión, se ha propuesto un mejoramiento de trazo entre las progresivas Km 191+000 al Km 194+094.296, en donde la planta, perfil y sección transversal cumplen la norma DG-2018.

TERCERA: En conclusión, se calculó que la influencia del costo del mantenimiento de un sector de la carretera que incumple la normativa DG-2018 frente a un diseño nuevo es el 22.27%, el valor está calculado a nivel de pavimentación.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda incrementar los dispositivos de señalización con el fin de que los usuarios de la vía no sufran accidentes y transiten a la velocidad con la que fue diseñada la carretera.

Incrementar el ancho de las curvas de volteo con el fin de evitar accidentes por cierre de los vehículos pesados, en caso no se pueda incrementar el ancho de la curva de volteo se recomienda ejecutar banquetas de visibilidad con el fin de que ambos vehículos puedan visualizarse y detenerse en caso sea necesario.

SEGUNDA: Se recomienda que en los futuros proyectos de diseño geométrico de carreteras se considere el procedimiento realizado en la presente investigación de tal manera que se cumpla el manual de carreteras DG-2018 y reducir el riesgo de que los usuarios de la vía sufran accidentes.

Se recomienda al Ministerio de Transportes y Comunicaciones que en una futura actualización de la DG-2018 se tenga en consideración lo siguiente:

- Colocar las referencias bibliográficas con el fin de tener un mejor panorama respecto a la aplicación de la norma.
- Establecer un procedimiento normado para la metodología de cálculo del sobreecho para vehículos articulados.
- Verificar el valor de las longitudes mínimas de las tangentes en “S” y en “O” para terrenos accidentados y escarpados ya que en ese tipo de



orografía el trazo se adapta a las curvas de nivel y es difícil llegar a cumplir los valores de la norma.

TERCERA: Se recomienda realizar el mantenimiento periódico de la vía con el fin de mantener el nivel de servicio de la vía.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvaron, A. J. (2022). *Evaluación de los parámetros del diseño geométrico de la carretera Huaraz - Santo Toribio (L=16 Km) con el manual de diseño geométrico 2018, año 2020*. Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo", Ancash-Perú.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (Sexta ed.). AASHTO.
- AportesIngeCivil. (12 de Abril de 2022). Retrieved 25 de Febrero de 2023, from <https://aportesingecivil.com/autodesk-civil-3d-2023/>
- AportesIngeCivil. (3 de Mayo de 2022). Retrieved 25 de Febrero de 2023, from <https://aportesingecivil.com/autodesk-vehicle-tracking-2023/>
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Perú.
- Cardenas, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras* (Segunda ed.). Ecoe Ediciones.
- Cercado, C. A. (2021). *Estudio comparativo de las características geométricas y señalización vial de la carretera Cajamarca – Otuzco con las normas DG-2018*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.
- Cespedes, J. M. (2001). *Carreteras Diseño Moderno* (Primera ed.). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Choconta, P. A. (2008). *Diseño Geométrico de Vías* (Segunda ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Garcia, J. P., & Santillan, J. C. (2022). *Funcionalidad de la carretera Iquitos – Nauta y rediseño del trazo en el tramo Km 15+000 al Km 16+000 Loreto 2021*. Universidad Científica del Perú, Loreto-Perú.
- Güemez, C. R. (21 de Octubre de 2013). Comportamiento dinámico de los vehículos de carga pesada en el cantón de San José (2011-2012). *Revista Infraestructura Vial*, 15(26), 14-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/iv.v15i26.12177>
- Ibañez, W. (2024). *Costos y tiempos en carreteras* (4ta ed., Vol. 1). IBASA.



- Melendez, M. A. (2019). *Análisis técnico del diseño geométrico de la carretera nacional P-3N, con relación al manual de carreteras DG-2018, tramo: KM.136+000 – KM. 141+000*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco-Perú.
- Miranda, E. P. (2022). *Evaluación de las características geométricas de la carretera Llacanora – Namora, de acuerdo con el manual de diseño geométrico DG-2018*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.
- Moscol, J. A. (2021). *Seguridad vial en la carretera Celendin – Jose Galvez considerando las características geométricas, en base a la norma de diseño geométrico DG-2018*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú.
- MTC. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Perú: Diario Oficial el Peruano RD N° 03-2018-MTC/14.
- Navarro, S. (2017). *Diseño y Cálculo Geométrico de Viales*. Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Augusto Cesar Sandino.
- Puerto Higuera, G. J., & Vargas Vargas, W. E. (17 de Junio de 2020). Determinación del sobreechanco requerido para vías con bajas velocidades de diseño en Colombia. *Revista de topografía Azimut*, 11(1), 66-84.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/13796/15908>
- Quiroz, J. W. (2020). *Evaluación de las características geométricas de la carretera Cajabamba – Ponte (KM 52+300 – KM 48+050) de acuerdo con el manual de diseño geométrico de carreteras DG-2018*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú.
- Rühle, F. G. (1967). *Normas de diseño geométrico de camino rurales*. Dirección Nacional de Vialidad.
- Saavedra, J. L. (2021). *Propuesta de diseño de ancho y sobre ancho de curva de volteo para un semi trailer en la carretera de Canta*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho - Perú.
- Suca, N. (2016). *Metodología de la investigación científica y tecnológica en la ingeniería civil*. Perú.



Ugarte, O. (2016). *Diseño Geométrico de Carreteras con AutoCAD CIVIL 3D* (Primera ed.). Macro.



ANEXOS

ANEXO 1: Plano de ubicación.

HIPÓTESIS 1

ANEXO 2: Estudio de tráfico y de velocidad.

ANEXO 3: Planos de planta y perfil (Trazo existente Km 183+720 – Km 231+667).

ANEXO 4: Evaluación de los parámetros geométricos en planta del trazo existente Km 183+720 – Km 231+667 (Elementos en curva, espiral y tangente).

ANEXO 5: Evaluación de los parámetros geométricos en perfil del trazo existente Km 183+720 – Km 231+667.

ANEXO 6: Evaluación de los parámetros geométricos en sección transversal del trazo existente Km 183+720 – Km 231+667.

HIPÓTESIS 2

ANEXO 7: Levantamiento topográfico Km 191+000 al Km 194+094.296.

ANEXO 8: Memoria de cálculo del diseño del nuevo trazo geométrico Km 191+000 al Km 194+094.296.

ANEXO 9: Planos de planta, perfil y sección transversal del nuevo trazo geométrico Km 191+000 al Km 194+094.296.

ANEXO 10: Planos de la trayectoria del vehículo T3S3 en el diseño nuevo Km 191 al Km 194+094.296.

HIPÓTESIS 3



ANEXO 11: Influencia de costos de mantenimiento versus un diseño nuevo.

ANEXO 12: Declaración jurada de autenticidad de tesis.

ANEXO 13: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EDUARDO HENRY ALEMAN MAMANI
identificado con DNI 70405447 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

" EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA CARRETERA
INTEROCÉANICA SUE TRAMO IV KM 183+720 - 231+667 DE ACUERDO
A LA NORMATIVA 06-2018 "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 24 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo EDUARDO HENRY ALEMAN MAMANI
identificado con DNI 70405441 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

" EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA CARRETERA
INTEROCEÁNICA SUR TRAMO IV KM 182+720 - 231+667 DE ACUERDO
A LA NORMATIVA DE 2018 "

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella