

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**NORMA DE ESTANDARIZACIÓN DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE
TROCHAS CARROZABLES PARA MODIFICAR LA NORMA DEL MTC A
TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE OTROS PAÍSES.**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR:

Bach. QUISPE AQUINO, NAITH ELIANA

Bach. POMA MILIAN, DIANA CAROLINA

ASESOR: Mg. Ing. ARÉVALO LAY, VÍCTOR ELEUTERIO

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico en primer lugar a Dios y a mi padre Edgar quien desde el cielo guía mi camino. A mi madre Raquel pilar fundamental en mi vida, con mucho cariño y amor le agradezco todo el sacrificio que hizo junto a mi padre para poder cumplir todas mis metas, se merecen esto y mucho más. A Cristhian y Melani mis queridos hermanos por su apoyo incondicional. A mi bella sobrina Sofía porque llena de alegría cada día de mi vida. A David mi novio por su amor y comprensión. Gracias por los grandes y hermosos momentos al lado de ustedes, los amo.

Naith Eliana Quispe Aquino

Esta tesis se la dedico a Dios esencia de mi vida, a mis padres Walter y Carmen que son mi adoración, a mis hermanos Walter y Gabriel y a mi sobrino Fernandito, pues son mis bellos amores, los motores de mi vida para poder salir adelante, los pilares que me sostienen ante cualquier adversidad que se me presente. A mi pareja por su apoyo, comprensión y amor incondicional. Los amo a todos con todo mi corazón muchas gracias por existir y ser parte de mi vida.

Diana Carolina Poma Milian

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a nuestra alma mater la Universidad Ricardo Palma y a la facultad de Ingeniería Civil por la formación profesional brindada durante la época universitaria, asimismo agradecer al ingeniero Víctor Arévalo Lay nuestro asesor y Andrés Valencia nuestro metodólogo por el apoyo constante, paciencia, tolerancia, grandes consejos y enseñanzas durante la elaboración de nuestro trabajo de investigación, pues sin ellos esta meta no se hubiera podido realizar, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad de la problemática.....	2
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema principal.....	13
1.2.2. Problemas secundarios	13
1.3. Objetivos de la investigación.....	13
1.3.1. Objetivo principal	13
1.3.2. Objetivos secundarios.....	13
1.4. Justificación e importancia de la investigación	14
1.4.1. Conveniencia	14
1.4.2. Relevancia social	15
1.4.3. Implicancia práctica.....	15
1.5. Limitaciones de la investigación: temporal espacial y temático	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.1. En el ámbito Internacional.....	16
2.1.2. En el ámbito Nacional	17
2.2. Bases teóricas	20
2.3. Definiciones Conceptuales	25
2.4. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	27
2.4.1. Sección Transversal.....	28
2.4.2. Alineamiento horizontal	48
2.4.3. Alineamiento vertical	61
2.4.4. Tráfico	64
2.4.5. Seguridad vial.....	68
2.4.6. Topografía de terreno	80
2.5. Formulación de la hipótesis.....	80
2.5.1. Hipótesis general	80

2.5.2. Hipótesis específicas.....	80
2.5.3. Variables.....	81
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	82
3.1. Tipo y nivel.....	82
3.2. Diseño de la investigación.....	82
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	83
3.3.1. Tipos de técnicas e instrumentos	83
3.3.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	83
3.3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	84
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	85
4.1. Revisión de Manuales de otros Países	85
4.1.1. Diseño de Caminos de Bajo Volumen (Etiopía - África).....	85
4.1.2. Manual de Carreteras (Chile)	88
4.1.3. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Colombia).	90
4.1.4. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 (Ecuador)	92
4.1.5. Manual de Diseño Geométrico (Bolivia)	94
4.1.6. Manual de Carreteras del Paraguay.....	96
4.1.7. Manual Básico de Caminos y Vías vecinales (Brasil)	98
4.1.8. Diseño de Carreteras (Australia)	99
4.1.9. AASTHO 2011 – EE.UU	101
4.1.10. Propuestas de Parámetros	102
CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	110
5.1. Propuesta de Diseño Geométrico	110
5.2. Aplicación de la investigación	112
5.2.1. Descripción del Proyecto.....	112
5.2.2. Ubicación del Proyecto	112
5.2.3. Características de la zona	113
5.2.4. Diseño Geométrico.....	113
CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	117
6.1. Resultados de la investigación	117
6.2. Análisis e interpretación de los resultados	122
6.3. Contrastación de Hipótesis	124

6.3.1. Hipótesis específica 1	124
6.3.2. Hipótesis específica 2.....	125
6.3.3. Hipótesis específica 3	126
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXO N°01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	134
ANEXO N°02: TABLA DE RADIOS MÍNIMOS DE CURVATURA.....	135
ANEXO N°03: TABLA DE PENDIENTES MÁXIMAS	148
ANEXO N°04: PLANOS DE PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL	150
ANEXO N°05: PLANOS DE SECCIONES TRANSVERSALES	155
ANEXO N°06: PUNTOS GEODÉSICOS PARA GEORREFERENCIACIÓN.....	177

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Velocidad de diseño (DG-2018).....	3
Tabla N° 2: Pendiente Máxima (%) (DG-2018)	4
Tabla N° 3: Pendiente Máxima (%) (DG-2013)	5
Tabla N° 4: Características de superficie de rodadura de carreteras de BVT-2008....	6
Tabla N° 5: Pendientes Máximas (%) (MDGCNPBVT-2008).....	7
Tabla N° 6: Características de superficie de rodadura de caminos de BVT-2005.....	8
Tabla N° 7: Pendientes máximas (%) (MDGCNPBVT-2005)	9
Tabla N° 8: Velocidad de diseño (DG-2001).....	10
Tabla N° 9: Pendientes máximas (%) (DG-2001)	11
Tabla N° 10: Velocidad de diseño (NPDCV-1978).....	12
Tabla N° 11: Pendientes máximas (%) (NPDCV-1978).....	12
Tabla N° 12: Infraestructura vial del sistema nacional (1990-2018)	14
Tabla N° 13: Recomendaciones de parámetros geométricos del autor.....	16
Tabla N° 14: Cuadro resumen de parámetros inseguros	20
Tabla N° 15: Cuadro resumen de parámetros seguros	21
Tabla N° 16: Características geométricas de la vía.....	22
Tabla N° 17: Diseño propuesto con normativa DG-2014.....	22
Tabla N° 18: Resumen del análisis del camino vecinal	24
Tabla N° 19: Resultado del análisis geométrico de la vía.....	25
Tabla N° 20: Cuadro comparativo del concepto de Trocha Carrozable	28
Tabla N° 21: Anchos mínimos de calzada en tangente.....	34
Tabla N° 22: Cuadro comparativo de anchos mínimos de calzada.....	35
Tabla N° 23: Anchos recomendados de calzada en recta	36
Tabla N° 24: Anchos mínimos de calzada de carreteras de 2 carriles	39
Tabla N° 25: Anchos de berma	40
Tabla N° 26: Cuadro comparativo de anchos de berma.....	40
Tabla N° 27: Anchos recomendados de berma	41
Tabla N° 28: Anchos mínimos de bermas útiles.....	43
Tabla N° 29: Efecto del tipo de berma en la colocación de automóviles	44
Tabla N° 30: Anchos mínimos de derecho de vía.....	45
Tabla N° 31: Cuadro comparativo de anchos mínimos de derecho de vía	46
Tabla N° 32: Anchos mínimos recomendados de derecho de vía.....	46

Tabla N° 33: Longitud de curva mínima (L)	49
Tabla N° 34: Ángulo de inflexión máximo aceptable sin curva circular	50
Tabla N° 35: Longitudes de tramos en tangente	55
Tabla N° 36: Cuadro comparativo del cálculo de tramos en tangente	56
Tabla N° 37: Cuadro comparativo de radios mínimos del MTC	60
Tabla N° 38: Cuadro comparativo de distancia de visibilidad de parada	71
Tabla N° 39: Elementos de adelantamiento en carreteras de dos sentidos	75
Tabla N° 40: Mínimas distancias de adelantamiento en carreteras de dos sentidos ..	75
Tabla N° 41: Oportunidades de adelantar por tramos de 5 km	76
Tabla N° 42: Cuadro comparativo de distancia de visibilidad de adelantamiento	76
Tabla N° 43: Cuadro comparativo de la distancia de visibilidad de cruce	79
Tabla N° 44: Operacionalización de variables	81
Tabla N° 45: Sección transversal Etiopía	85
Tabla N° 46: Componentes del alineamiento horizontal	86
Tabla N° 47: Alineamiento vertical - Etiopía.	87
Tabla N° 48: Pendientes máximas según IMD	88
Tabla N° 49: Anchos totales	88
Tabla N° 50: Alineamiento horizontal – Chile	89
Tabla N° 51: Resumen de alineamiento vertical - Chile.....	90
Tabla N° 52: Cuadro de anchos totales (m)- Colombia	90
Tabla N° 53: Cuadro resumen de alineamiento horizontal	91
Tabla N° 54: Cuadro de alineamiento vertical- Colombia.....	92
Tabla N° 55: Anchos totales - Ecuador.....	92
Tabla N° 56: Alineamiento horizontal - Ecuador	93
Tabla N° 57: Alineamiento vertical - Ecuador.....	94
Tabla N° 58: Anchos totales- Bolivia	94
Tabla N° 59: Alineamiento horizontal- Bolivia.....	95
Tabla N° 60: Alineamiento vertical - Bolivia	96
Tabla N° 61: Anchos totales- Paraguay	96
Tabla N° 62: Alineamiento horizontal - Paraguay.....	97
Tabla N° 63: Alineamiento vertical - Paraguay	97
Tabla N° 64: Anchos totales- Brasil	98
Tabla N° 65: Alineamiento horizontal - Brasil	99
Tabla N° 66: Alineamiento vertical - Brasil	99

Tabla N° 67: Anchos totales - Australia	100
Tabla N° 68: Alineamiento horizontal- Australia	100
Tabla N° 69: Alineamiento vertical - Australia	101
Tabla N° 70: Anchos totales - AASTHO	101
Tabla N° 71: Pendientes máxima- AASTHO	101
Tabla N° 72: Cuadro Resumen	103
Tabla N° 73: Comparación de sección transversal	104
Tabla N° 74: Comparación de radios mínimos	105
Tabla N° 75: Propuesta de radio mínimo	105
Tabla N° 76: Comparación de distancia de parada	106
Tabla N° 77: Propuesta de distancia de parada	106
Tabla N° 78: Comparación de distancia de adelantamiento	107
Tabla N° 79: Propuesta de distancia de adelantamiento	107
Tabla N° 80: Comparación de pendientes máximas	108
Tabla N° 81: Propuesta de pendiente máxima	109
Tabla N° 82: Propuesta de diseño geométrico	111
Tabla N° 83: Comparación de diseño en distintas normas	113
Tabla N° 84: Radios mínimos	118
Tabla N° 85: Valores de pendientes - Apurímac	119
Tabla N° 86: Valores de pendiente- Canta.....	121
Tabla N° 87: Comparativa de ancho de calzada	122
Tabla N° 88: Comparativo de radios mínimos.....	123
Tabla N° 89: Comparativo de pendiente máxima	123
Tabla N° 90: Propuesta Final	127
Tabla N° 91: Propuesta de Sección Transversal	128
Tabla N° 92: Propuesta de Alineamiento Horizontal.....	128
Tabla N° 93: Propuesta de Pendiente.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sección típica de vía con una calzada de dos carriles.....	30
Figura N° 2: Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta.....	30
Figura N° 3: Elementos de la sección transversal.....	31
Figura N° 4: Sección transversal tipo de una carretera de dos carriles.....	33
Figura N° 5: Posiciones de vehículos comerciales	38
Figura N° 6: Sección transversal indicando el derecho de vía.....	47
Figura N° 7: Derecho de vía	48
Figura N° 8: Alineamiento horizontal de una carretera	54
Figura N° 9: Elementos geométricos de una curva circular simple.....	59
Figura N° 10: Sección transversal típica de vía con una calzada de dos carriles.....	67
Figura N° 11: Sección transversal típica de vía con una calzada de dos carriles.....	68
Figura N° 12: Distancia de adelantamiento en carreteras de 2 carriles 2 sentidos	73
Figura N° 13: Distancia de visibilidad en intersecciones	79
Figura N° 14: Flujo-grama de procedimientos de recolección de datos.....	83
Figura N° 15: Detalles del borde de la carretera.....	86
Figura N° 16: Sección Transversal - Chile	89
Figura N° 17: Sección Transversal – Colombia.....	91
Figura N° 18: Sección Transversal – Ecuador	93
Figura N° 19: Sección Transversal – Bolivia.....	95
Figura N° 20: Sección Transversal - Brasil	98
Figura N° 21: Ubicación del Proyecto	112
Figura N° 22: Vista con el GPS – Tramo 01.....	114
Figura N° 23: Vista desde un punto -Tramo 1	115
Figura N° 24: Vista de Horizontal – Tramo.....	115
Figura N° 25: Vista de Planta – Tramo 01	116
Figura N° 26: Sección Transversal en campo.....	117
Figura N° 27: San Buenaventura a Tambo de 5.31 km	120

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal proponer una norma de estandarización de diseño geométrico para las trochas carrozables, a través del análisis de estándares de otros países para modificar la Norma del MTC.

El presente trabajo de investigación tuvo un enfoque de investigación mixta (cuantitativa-cualitativa), ya que se evidenció el proceso de recolección de datos, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos. De tal forma se realizó el análisis y comparación de los manuales de los países extranjeros mencionados anteriormente, para después realizarse la propuesta de diseño; para ello se estudió la sección transversal (carril y berma) a fin de mejorar el tráfico en las trochas, se analizó el alineamiento horizontal (radio mínimo de curvatura, distancia de visibilidad de parada y distancia de visibilidad de adelantamiento) a fin de mejorar la seguridad vial e investigó el alineamiento vertical (pendiente máxima) en función a la topografía del terreno.

Como resultado de la investigación se obtuvo un cuadro de Propuesta Final de diseño geométrico, donde para un IMD de 0-50 veh/día, el ancho de la calzada es 4.50m , radio mínimo del alineamiento horizontal de 15m y pendiente máxima del alineamiento vertical de 17%; para un IMD de 50-100 veh/día , un ancho de calzada de 5.50m , radio mínimo de 25m y pendiente máxima de 15% y finalmente para un IMD de 100 – 200 veh/día , un ancho de calzada de 6.50 m, radio mínimo de 40 m y pendiente máxima de 12%, por lo tanto fue factible proponer una norma de estandarización de diseño geométrico para las trochas carrozables.

Palabras Claves: Norma de Estandarización, Diseño Geométrico, Trochas Carrozables, Sección Transversal, Alineamiento Horizontal, Alineamiento Vertical.

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to propose a standard of geometric design standardization for carriages, through the analysis of standards from other countries to modify the MTC Standard.

This research work had a mixed research approach (quantitative-qualitative), since the process of data collection, analysis and linking of quantitative and qualitative data was evidenced. In this way the analysis and comparison of the manuals of the foreign countries mentioned above was carried out, and then the design proposal was made; For this, the cross section (lane and berm) was studied in order to improve the traffic on the trails, the horizontal alignment was analyzed (minimum radius of curvature, distance of visibility of stop and distance of visibility of overtaking) in order to improve the road safety and investigated the vertical alignment (maximum slope) based on the topography of the terrain.

As a result of the investigation, a Geometric Design Final Proposal box was obtained, where for an IMD of 0-50 vehicles / day, the width of the road is 4.50m, minimum radius of the horizontal alignment of 15m and maximum slope of the vertical alignment of 17%; for an IMD of 50-100 vehicles / day, a roadway width of 5.50m, a minimum radius of 25m and a maximum slope of 15% and finally for an IMD of 100-200 vehicles / day, a roadway width of 6.50 m, minimum radius of 40 m and maximum slope of 12%, therefore it was feasible to propose a standard of geometric design standardization for carriage trails.

Keywords: Standardization Standard, Geometric Design, Traceable Trails, Cross Section, Horizontal Alignment, Vertical Alignment.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como finalidad proponer una Norma de Estandarización de Diseño Geométrico de trochas carrozables para modificar la norma del MTC a través del análisis de estándares de otros países.

Empezaremos por indicar en el Capítulo I el planteamiento del problema, es decir como llenamos el vacío que existe en la norma DG-2018 sobre el diseño de trochas carrozables, teniendo así la necesidad de establecer o proponer una estandarización para el diseño geométrico, debido a que las carreteras no pavimentadas conforman el mayor porcentaje 84.02% del total de carreteras en el Perú; posteriormente señalaremos los objetivos del trabajo de investigación partiendo de la hipótesis.

En el capítulo II se presentará el marco teórico que incluye los antecedentes nacionales e internacionales que aportaron en la presente tesis, la formulación de la hipótesis.

En el capítulo III se explica el diseño metodológico, tipo y nivel, diseño de investigación, población y muestra y técnicas de recolección de datos.

En el capítulo IV se hace el desarrollo de investigación, donde se analiza los diferentes manuales de otros países y se procede a comparar los estándares de la sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical.

En el capítulo V se muestra la propuesta o aplicación de la investigación mediante cuadros resúmenes en relación a los anchos de las calzadas, radios mínimos y pendientes que se proceden a comparar con los datos que se recolectaron en campo, de este modo se corrobora si el diseño que tiene la carretera es adecuado.

Finalmente, el capítulo VI muestra la presentación de resultados por medio de un cuadro general con el fin de cumplir con los objetivos planteados y en base a los resultados lograr las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad de la problemática

Para poder comprender mejor la descripción del problema de la presente investigación, se hará una breve revisión histórica de los Manuales de Carreteras de nuestro país emitidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), quien es la autoridad competente encargada de establecer las normas de gestión de infraestructura vial en el país, de modo que se iniciara con el año 2018 así retrocediendo en el tiempo hasta llegar al año 1978.

Iniciaremos con el Manual de Carreteras: “Diseño Geométrico (DG-2018)”, donde menciona que una carretera con Índice medio diario anual (IMDA) menor a 200 veh/día, es considerada una trocha carrozable.

En el Capítulo I: “Clasificación de las carreteras”, Sección 101: “Clasificación por demanda”, indica que:

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

- Autopistas de Primera Clase
- Autopistas de Segunda Clase
- Carreteras de Primera Clase
- Carreteras de Segunda Clase
- Carreteras de Tercera Clase:

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

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

- Trochas Carrozables:

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018, pp. 12-13)

Asimismo, en el Capítulo II: “Criterios y Controles Básicos para el Diseño Geométrico”, Sección 204: “Velocidad de Diseño” e ítem 204.02: “Velocidad de diseño del tramo homogéneo”, menciona que:

La velocidad de Diseño está definida en función de la clasificación por demanda u orografía de la carretera a diseñarse. A cada tramo homogéneo se le puede asignar la Velocidad de Diseño en el rango que se indica en la Tabla N°01. (MTC, 2018, p. 96).

Tabla N° 1: Velocidad de diseño (DG-2018)

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

Fuente:” Manual DG-2018”, por MTC (2018, p. 97)

En la Tabla N°1, se puede observar que la velocidad de diseño solo muestra información hasta carreteras de tercera clase, quienes tienen una demanda menor a 400 veh/día dentro del cual se podría incluir a la trochas, ya que éstas tienen un IMDA menor a 200 veh/día, no obstante por definición en el manual (DG-2018) se observa como una característica diferencial relevante, que las carreteras de tercera clase tienen calzadas con 2 carriles mientras que las trochas solo permiten el paso de un solo vehículo. Por lo tanto, de esta manera se contempla un vacío en la normativa DG-2018, ya que no ofrece la información de velocidad de diseño para una trocha carrozable.

Finalmente, en el Capítulo III: “Diseño Geométrico en Planta, Perfil y Sección Transversal”, Sección 303: “Diseño geométrico en perfil” e ítem 303.03.02: “Pendiente máxima”, nos presenta la tabla de pendientes máximas en función a la orografía (topografía del terreno) y demanda o tráfico.

Tabla N° 2: Pendiente Máxima (%) (DG-2018)

Demanda Vehículos/día	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 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
Velocidad de diseño: 30 km/h																				
40 km/h																9.00	8.00	9.00	10.00	
50 km/h											7.00	7.00			8.00	9.00	8.00	8.00	8.00	
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00		
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00							
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p. 171)

En la Tabla N°02, se puede apreciar la información de pendientes máximas nuevamente hasta carreteras de tercera clase, sin embargo, se genera una incertidumbre en la elección de este parámetro de diseño para las trochas, ya que como se mencionó líneas anteriores las carreteras de tercera clase y las trochas no presentan el mismo número de carriles; mostrando así nuevamente la falta de información para este tipo de caminos en el manual DG-2018.

Continuando con la breve revisión, ahora comentaremos sobre el Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”, con respecto a este manual que fue aprobado el 30 de octubre de 2014, ya que al hacerse una revisión integral del Manual de carreteras DG-2013 con la finalidad de determinar sus correcciones y modificaciones necesarias, se procedió a formular una nueva versión (DG-2014). El manual DG-2014 clasifica a las carreteras en función a la demanda y orografía al igual que lo hace el manual DG-2018; a su vez para la determinación de velocidad de diseño del tramo homogéneo como de pendientes máximas en función a la demanda y orografía proporciona las mismas tablas del DG-2018 (Ver Tabla N°1 y Tabla N°2).

Prosiguiendo con la descripción de los manuales, ahora comentaremos sobre el Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2013)”, en el Capítulo I: “Clasificación de las

Carreteras”, Sección 101: “Clasificación por demanda”, define a las carreteras de tercera clase y trochas carrozables de la misma forma que el manual de carreteras DG-2018.

Del mismo modo en el Capítulo II: “Criterios y Controles Básicos para el Diseño Geométrico”, Sección 204: “Velocidad de diseño” e ítem 204.02 “Velocidad de diseño del tramo homogéneo” el contenido es similar al DG-2018 (Ver Tabla N°01).

Por último, en el Capítulo III: “Diseño Geométrico en Planta, Perfil y Sección Transversal”, Sección 303: “Diseño geométrico en perfil” e ítem 303.03.02: “Pendiente máxima”, nos muestra la tabla de pendientes máximas en función a la orografía y demanda, siendo esta tabla también similar a la del manual DG-2018 (Ver Tabla N°2).

Tabla N° 3: Pendiente Máxima (%) (DG-2013)

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Vehículos/día	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
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
Velocidad de diseño: 20 km/h																	8,00	9,00	10,00	12,00
30 km/h																	8,00	9,00	10,00	12,00
40 km/h																	9,00	8,00	9,00	10,00
50 km/h											7,00	7,00			8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00
60 km/h					6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00
70 km/h			5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	7,00		7,00	7,00	7,00	7,00
80 km/h	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00		6,00	6,00			7,00	7,00	7,00	7,00
90km/h	4,50	5,00	5,00		5,00	5,00	6,00		5,00	5,00			6,00				6,00	6,00	6,00	6,00
100km/h	4,50	4,50	4,50		5,00	5,00	6,00		5,00				6,00							
110 km/h	4,00	4,00			4,00															
120 km/h	4,00	4,00			4,00															
130 km/h	3,50																			

Fuente: “Manual DG-2013”, por MTC (2013, p. 188)

En la Tabla N°3, se puede observar que la pendiente máxima para carreteras de tercera clase a una velocidad de 30 km/h y una orografía de tipo 4 (terreno escarpado) es 12%, a diferencia del manual DG-2018 y DG-2014 que para las mismas condiciones de velocidad y orografía la pendiente máxima es 10%.

En el manual de carreteras DG-2013, continúa existiendo un vacío de información, en cuanto al diseño de la velocidad de diseño del tramo homogéneo y pendientes máximas para las trochas carrozables.

El Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG- 2013)” deja sin efecto al “Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (MDCNPBVT)” del año 2005, al “Manual para el Diseño de Carreteras No pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (MDCNPBVT)” del año 2008 y al “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001)”, según RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 137-2014-MTC/02, debido a que el Manual de Carreteras DG-2013 aprobado por Resolución

Directoral N° 31-2013-MTC/14, comprende todos los conceptos, procedimientos y documentos técnicos de las normas mencionadas anteriormente en este párrafo.

Por otra parte, el “Manual para el Diseño de Carreteras No pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito” del año 2008, se regía para las carreteras con IMDA menor a 200 veh/día (Caminos del Sistema Vecinal) y era utilizado de forma conjunta con el manual de carreteras DG-2001, así se muestra la Tabla N°4 con la clasificación de carreteras de bajo volumen de tránsito (BVT), su estructura y superficie de rodadura propia:

Tabla N° 4: Características de superficie de rodadura de carreteras de BVT-2008

CARRETERA DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO DE CALZADA (M)	ESTRUCTURAS Y SUPERFICIE DE RODADURA ALTERNATIVAS (**)
T3	101-200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado
T2	51-100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16-50	1 carril(*) o 2 carriles 3.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril(*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm
Trocha carrozable	IMD indefinido	1 sendero(*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana las carreteras puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

Fuente: “Manual MDCNPBVT”, por MTC (2008, p. 8)

En la Tabla N°4, podemos ver que para el rango de IMDA de 101 - 200 veh/día con un ancho de calzada de 5.50 - 6.00 m, con 2 carriles correspondiente a la carretera de tipo T3 y la de rango de IMDA de 51 - 100 veh/día con un ancho de calzada de 5.50 -6.00 m, con 2 carriles correspondiente al camino de tipo T2, en ambos casos se puede aplicar la actual norma vigente (Manual de carreteras DG-2018). Por otro lado, para el rango de IMDA de 16-50 veh/día con un ancho de calzada de 3.50 - 6.00 m, con 1 o 2 carriles que pertenece a la carretera de tipo T1 y del rango de IMDA menor a 15 veh/día con ancho de calzada de 3.50 - 4.50 m, con 1 solo carril que pertenece al camino de tipo T0, en ambos casos para la actual norma en vigencia (DG-2018) la trocha estaría considerada en estos rangos.

En el Capítulo 3: “Diseño Geométrico”, ítem 3.3: “Alineamiento Vertical”, sub ítem 3.3.3: “Pendiente”, nos muestra la tabla de pendientes máximas, según la orografía del terreno y para ciertas velocidades de diseño, así se tiene la Tabla N°5:

Tabla N° 5: Pendientes Máximas (%) (MDGCNPBVT-2008)

OROGRAFÍA TIPO	Terreno plano	Terreno ondulado	Terreno montañoso	Terreno escarpado
VELOCIDAD DE DISEÑO:				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8

Fuente: “Manual MDCNPBVT”, por MTC (2008, p. 34)

En la Tabla N°5, se observa que para este manual se trabaja con una velocidad mínima de 20km/h, dando una pendiente de 8% que se presenta en los terrenos planos, de 9% en los terrenos ondulados, de 10% (en terrenos montañosos y 12% en terrenos escarpados, y para la velocidad de diseño máxima de 60 km/h nos muestra pendientes de 8% en terrenos planos, ondulados, montañosos y escarpados.

Es necesario no superar los límites máximos de pendiente que se presentan en la Tabla N°5 y que para tramos de carretera que posean altitudes que superen los 3,000 m.s.n.m. los valores máximos de la tabla en los terrenos montañosos o en terrenos escarpados se reduzcan en 1% (MTC,2008).

Continuando con la explicación sobre los manuales que ha emitido el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), ahora es el turno del “Manual para el Diseño de Caminos No pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito” del año 2005, en la tabla N°6 se puede ver la clasificación que se considera en este manual sobre los caminos de bajo volumen de tránsito , los cuales son de 6 tipos: trocha carrozable, T0, T1, T2, T3 Y T4, mientras que el manual de bajo volumen de tránsito del año 2008 lo hace de forma similar, teniendo como única diferencia en esta clasificación entre ambas normas, que este último en mención (MDCNPBVT-2008), retiró de dicha clasificación al camino de tipo T4 el cual tiene un IMDA que comprende desde los 201 - 400 veh/día. A continuación, se muestra la Tabla N°6 con los diferentes tipos de caminos de bajo volumen de tránsito con

su IMD proyectado, el ancho de calzada (con el número de carriles) y sus características de estructura y superficie de rodadura, que considera este manual de diseño geométrico:

Tabla N° 6: Características de superficie de rodadura de caminos de BVT-2005

CAMINO DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (m)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril(*) ó 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm). perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana los caminos puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento ó cal ó productos químicos u otros.

Fuente: “Manual de MDCNPBVT”, por MTC (2005, p.4)

En la Tabla N°6, se puede observar que para el rango de IMDA 201- 400 veh/día con un ancho de calzada de 6.00 - 7.00 m, con dos carriles de circulación que corresponde al camino de bajo volumen de tránsito de tipo T4, de IMDA de 101 - 200 veh/día con un ancho de calzada de 5.50 - 6.60 m, con dos carriles que corresponde a la carretera tipo T3 y la de IMDA de 51-100 veh/día con un ancho de calzada de 5.50 - 6.00 m, con 2 carriles que es correspondiente al camino de tipo T2, en estos casos se puede aplicar la normativa actual vigente (Manual de Carreteras DG-2018). En el rango de T1 (16-50 veh/día) y T0 (menor a 15 veh/día), los cuales presentan calzada de 3.50 - 6.00 m con 1 o 2 carriles y de 3.50 - 4.50 m con un solo carril respectivamente, en el actual manual vigente (DG-2018), la trocha se encontraría considerada en estos rangos.

Siguiendo con la revisión del manual del año 2005, tenemos la Tabla N°7: “Pendientes Máximas”, en ella se puede apreciar que éste parámetro está definido para las velocidades

de diseño entre 20 a 80 km/h. Cabe mencionar que, en el manual del año 2008, esta tabla se redujo hasta una velocidad de 60 km/h.

Tabla N° 7: Pendientes máximas (%) (MDGCNPBVT-2005)

OROGRAFÍA TIPO	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
Velocidad de diseño:				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7

Fuente: “Manual de MDCNPBVT-2005”, por MTC (2005, p.48)

En la Tabla N°7, los valores de pendiente máxima están en función de la velocidad, de modo que se observa que para la velocidad mínima de 20km/h el máximo valor de pendiente máxima es de 12% presentándose en terrenos escarpados y un mínimo valor de pendiente máxima de 8% en terrenos planos y para la velocidad máxima de 80 km/h, el valor de pendiente máxima es de 7% y se presenta en los terrenos de tipo plano, ondulado, montañoso y escarpado. (Ver Tabla N°5)

Como penúltima revisión de los manuales hablaremos del “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001)”, que en el Capítulo 1: “Clasificación de Red Vial”, Sección 102: “Clasificación de acuerdo a la Demanda”, agrupa a las carreteras de la siguiente manera:

- Autopistas
- Carreteras Duales o Multicarril
- Carreteras de 1ra. Clase
- Carreteras de 2da. Clase
- Carreteras de 3ra. Clase:

Son aquellas carreteras de una sola calzada que soportan menos de 400 veh/día. El diseño de caminos del sistema vecinal < 200 veh/día se rigen por las Normas emitidas por el MTC para dicho fin y que no forman parte del presente Manual.

- Trochas Carrozables:

Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo. (MTC, 2001, p. 27)

Las diferencias en cuanto a la clasificación por demanda de este manual con el resto de manuales como: el DG-2013, 2014 y 2018 en cuanto clasificación por demanda, es que en las carreteras de tercera no se ofrece información del ancho de carril y en las trochas carrozables la definición es similar, pero la diferencia se encuentra en la falta de información sobre el ancho mínimo de calzada y el IMDA.

En la Sección 104: “Relación entre Clasificaciones”, se proporciona la relación entre clasificaciones de la red vial con la velocidad de diseño de la carretera, a diferencia de los demás manuales mencionados anteriormente que muestra la velocidad de diseño en función a la demanda y orografía, este manual (DG-2001) no te presenta directamente los valores de velocidad de diseño, sino más bien una relación de velocidad de diseño, clasificación, tráfico, características y orografía de la carretera como se puede observar en la Tabla N°8, en la cual se aprecia que al igual que los manuales citados con anterioridad (DG-2013, 2014 y 2018), el manual DG-2001 también muestra información hasta para carreteras de tercera clase, ya que era utilizado en forma conjunta o complementaria con los manuales para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MDCNPBVT) en los años de 2005 y 2008, quienes ofrecían la información para los caminos de BVT.

Tabla N° 8: Velocidad de diseño (DG-2001)

CLASIFICACIÓN	SUPERIOR				PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE			
TRAFICO VEH/DIA (1)	> 4000				4000 - 2001				2000-400				< 400			
CARACTERÍSTICAS	AP (2)				MC				DC				DC			
OROGRAFIA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
VELOCIDAD DE DISEÑO:																
30 KPH																
40 KPH																
50 KPH																
60 KPH																
70 KPH																
80 KPH																
90 KPH																
100 KPH																
110 KPH																
120 KPH																
130 KPH																
140 KPH																
150 KPH																

Fuente: “Manual DG-2001”, por MTC (2001, p.30)

De la Tabla N°8 citando un ejemplo particular, para una velocidad de 30 kph (KPH: kilómetros por hora) con una orografía tipo 4, su clasificación es de Tercera Clase (IMDA menor a 400 veh/día y con una calzada de dos carriles). Las abreviaturas mostradas en la tabla, en lo que se refiere a características de la carretera, AP es la abreviatura de “Autopista”, MC de “Carretera Multicarril o Dual (Dos calzadas)”, MD de “Carretera de Dos Carriles” y DC de “Calzada de dos carriles”.

En el Capítulo 4: “Diseño Geométrico en Planta y Perfil”, Sección 403: “Diseño Geométrico del Perfil Longitudinal” e ítem 403.04.02: “Pendientes máximas”, muestra la e indica que:

En zonas superiores a los 3000 msnm, los valores máximos, se reducirán en 1% para terrenos montañosos o escarpados. En carreteras con calzadas independientes las pendientes de bajada podrán superar hasta en un 2% los máximos establecidos en la Tabla N°9. (MTC, 2001, p. 140)

Tabla N° 9: Pendientes máximas (%) (DG-2001)

CLASIFICACIÓN	SUPERIOR								PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE							
TRAFICO VEH/DIA (1)	> 4000								4000 - 2001				2000-400				< 400							
CARACTERÍSTICAS	AP (2)				MC				DC				DC				DC							
OROGRAFÍA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
VELOCIDAD DE DISEÑO:																								
30 KPH																					10,00	12,00		
40 KPH																					9,00	8,00	9,00	10,00
50 KPH											7,00	7,00					8,00	9,00	8,00	8,00				
60 KPH					6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	8,00	8,00	8,00					
70 KPH			5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	7,00		7,00							
80 KPH	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00			6,00	6,00		7,00				
90 KPH	4,50	5,00	5,00		5,00	5,00	6,00		5,00	5,00			6,00											
100 KPH	4,50	4,50	4,50		5,00	5,00	6,00		5,00				6,00											
110 KPH	4,00	4,00			4,00																			
120 KPH	4,00	4,00			4,00																			
130 KPH	3,50																							
140 KPH	3,00																							
150 KPH																								

Fuente: “Manual DG-2001”, por MTC (2001, p.144)

En la Tabla N°9, se proporciona información solo hasta para carreteras de tercera clase, ya que este manual DG-2001 como habíamos indicado con anterioridad era usado complementariamente con los manuales de MDCNPBVT en el año 2005 y en el 2008. El valor 12% de pendiente máxima (que es el máximo valor en la tabla) se presenta en una carretera de clasificación de Tercera Clase, para una velocidad de diseño de 30kph y una orografía tipo 4.

Concluyendo con el análisis de los manuales, en el año 1978, el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 1978) se basaba en: “Normas para el Diseño de Caminos Vecinales” publicado en marzo de 1978, en el cual clasifican a las carreteras según su servicio como:

- Carreteras Duales
- Carreteras 1ra. Clase
- Carreteras 2da. Clase
- Carretera 3ra. Clase:
Para tránsito con un IMD hasta 400 vehículos/día.
- Trochas carrozables:
Carreteras pioneras con un IMD no especificado. (p. 5)

En el Ítem 6.3: “Valores Recomendables” para la velocidad directriz, este parámetro está en función de la sub clasificación de Caminos Vecinales y de la Topografía del terreno y se muestra:

Tabla N° 10: Velocidad de diseño (NPDCV-1978)

	CV-1	CV-2	CV-3	TC
Topografía Plana	45-60	40-50	35-45	30-40
Topografía Ondulada	30-45	30-40	25-35	20-30
Topografía Accidentada	20-30	20-30	15-25	10-20
Topografía Muy Accidentada	15-20	15-20	10-15	5-10

Fuente: “Normas para el Diseño de Caminos Vecinales”, por MTC (1978, p. 8)

En la Tabla N°10, para trochas carrozables se observa que para una topografía plana las velocidades son de 30 - 40km/h y para una topografía muy accidentada nos da velocidades entre 5 - 10 km/h.

En el Ítem 8.3.2.4: “Pendientes Máximas”, nos muestra este elemento de diseño geométrico del alineamiento vertical para cada tipo de camino vecinal, donde se puede observar la Tabla N°11:

Tabla N° 11: Pendientes máximas (%) (NPDCV-1978)

Pendiente Máxima	Clasificación del Camino			
	CV-1	CV-2	CV-3	Trocha
Sobre los 3,000 m.s.n.m.	6%	7%	8.5%	11%
Debajo de los 3,000 m.s.n.m.	7%	8%	10%	12%
Excepcional	14%			

Fuente: “Normas para el Diseño de Caminos Vecinales”, por MTC (1978, p. 18)

En la Tabla N°11, se considera que para terrenos de altitud debajo de los 3,000 m.s.n.m. la trocha carrozable tendría una pendiente máxima de 12% y sobre los 3,000 m.s.n.m. una pendiente máxima de 11% y de manera excepcional de 14%.

Como consecuencia de la revisión de los manuales, se puede concluir que el manual con mayor información sobre trochas es el manual del año 1978 y que con el transcurrir del tiempo la información para este tipo de caminos se fue reduciendo, por ello existen vacíos en la norma DG-2018, teniéndose la necesidad de proponer o establecer una estandarización para el diseño geométrico de las trochas, ya que las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, como lo es la trocha carrozable, conforman el mayor porcentaje de carreteras en el Perú; por tal motivo es necesario facilitar de criterios técnicos, sólidos y coherentes que sean de gran provecho en su diseño geométrico.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿De qué manera la propuesta de una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países, puede modificar la norma del MTC?

1.2.2. Problemas secundarios

- a) ¿De qué manera la propuesta de diseño de sección transversal mejorará el tráfico en las trochas carrozables?
- b) ¿De qué manera la propuesta de diseño del alineamiento horizontal mejorará la seguridad vial en las trochas carrozables?
- c) ¿De qué manera la propuesta de diseño del alineamiento vertical se actualizará en función a la topografía del terreno?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo principal

Proponer una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables, a través del análisis de estándares de otros países, para modificar la norma del MTC.

1.3.2. Objetivos secundarios

- a) Estudiar la sección transversal a fin de mejorar el tráfico en las trochas carrozables.
- b) Analizar el alineamiento horizontal a fin de mejorar la seguridad vial en las trochas carrozables.
- c) Proponer el alineamiento vertical en función a la topografía del terreno.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Conveniencia

Según el SINAC (Sistema Nacional de Carreteras) en su reporte al año del 2018 (Ver Tabla N°12), el Perú presentaba 168,473 km de carreteras, de las cuales 26,916 km son pavimentadas y representan el 15.98% del total de carreteras del país y 141,557.1 km son no pavimentadas correspondiendo al 84.02%, es a partir de esta información que podemos deducir que más del 50% de carreteras en nuestro país son no pavimentadas y de allí lo relevante de tener un adecuado diseño de este tipo de carreteras y del cual las trochas forman parte de este tipo de caminos.

Tabla N° 12: Infraestructura vial del sistema nacional (1990-2018)

AÑO	CLASIFICADOR DE RUTAS DEL SINAC	TOTAL	PAVIMENTADO				NO PAVIMENTADA			
			Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total	Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total
1990	D.S. N° 062-85-TC	69,942	5,740	1,058	766	7,564	9,952	13,386	39,040	62,378
1991	D.S. N° 062-85-TC	69,942	5,635	1,058	766	7,459	10,057	13,386	39,040	62,483
1992	D.S. N° 062-85-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1993	D.S. N° 062-85-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1994	D.S. N° 062-85-TC	69,942	5,800	1,058	766	7,624	9,892	13,386	39,040	62,318
1995	D.S. N° 09-95-MTC	73,439	6,477	1,089	790	8,356	10,042	13,242	41,799	65,083
1996	D.S. N° 09-95-MTC	73,766	6,761	1,013	790	8,564	9,903	13,300	41,999	65,202
1997	D.S. N° 09-95-MTC	75,807	7,130	989	874	8,993	9,615	13,441	43,758	66,814
1998	D.S. N° 09-95-MTC	78,112	8,140	1,106	942	10,188	8,812	13,145	45,967	67,924
1999	D.S. N° 09-95-MTC	78,127	8,141	1,106	942	10,189	8,826	13,145	45,967	67,938
2000	D.S. N° 09-95-MTC	78,213	8,522	1,106	945	10,573	8,531	13,145	45,964	67,640
2001	D.S. N° 09-95-MTC	78,251	8,693	1,106	947	10,745	8,399	13,145	45,962	67,506
2002	D.S. N° 09-95-MTC	78,319	8,989	1,105	950	11,044	8,169	13,146	45,960	67,275
2003	D.S. N° 09-95-MTC	78,397	7,990.0	1,106.3	942.0	10,038.3	8,867.0	13,144.7	46,347.0	68,358.7
2004	D.S. N° 09-95-MTC	78,396	8,521.0	1,106.0	942.0	10,569.0	8,336.0	13,145.0	46,346.0	67,827.0
2005	D.S. N° 09-95-MTC	78,506	8,730.9	1,106.0	942.0	10,778.9	8,126.1	13,145.0	46,456.4	67,727.6
2006	D.S. N° 09-95-MTC	79,506	8,911.0	1,106.0	942.0	10,959.0	8,946.0	13,145.0	46,456.4	68,547.4
2007	D.S. N° 034-2007/MTC	80,325	11,177.9	1,507.0	955.0	13,639.9	12,660.1	12,930.0	41,095.0	66,685.1
2008	D.S. N° 044-2008/MTC	81,787	11,370.4	1,478.0	790.0	13,638.4	12,532.5	18,217.0	37,399.0	68,148.5
2009	D.S. N° 044-2008/MTC	84,026	11,500.0	1,622.3	809.8	13,932.0	13,000.0	22,768.8	34,325.2	70,094.1
2010	D.S. N° 044-2008/MTC	84,245	12,444.9	1,987.6	880.5	15,313.0	11,150.9	23,786.6	33,994.3	68,931.9
2011 ^a	D.S. N° 036-2011/MTC	129,162	13,639.7	2,089.7	1,484.3	17,213.7	9,679.7	23,508.5	78,759.7	111,947.9
2012 ^a	D.S. N° 036-2011/MTC	140,672	14,747.7	2,339.7	1,611.1	18,698.6	9,845.7	21,895.4	90,232.7	121,973.8
2013 ^a	D.S. N° 036-2011/MTC	156,792	15,905.9	2,517.8	1,933.0	20,356.7	9,099.5	22,474.4	104,861.5	136,435.5
2014 ^a	D.S. N° 012-2013/MTC	165,467	17,411.5	2,429.8	1,924.6	21,765.9	8,377.4	22,582.5	112,740.8	143,700.7
2015 ^a	D.S. N° 012-2013/MTC	165,372	18,420.1	3,459.0	1,890.1	23,769.2	8,016.0	20,828.4	112,758.3	141,602.7
2016 ^b	D.S. N° 011-2016/MTC	165,905	19,682.4	3,695.7	1,915.0	25,293.2	7,000.9	21,608.2	112,002.5	140,611.7
2017	D.S. N° 011-2016/MTC	166,765	20,367.5	3,714.1	1,883.9	25,965.5	6,424.4	23,766.9	110,608.3	140,799.6
2018	D.S. N° 011-2016/MTC	168,473	21,434.0	3,623.1	1,858.9	26,916.0	5,675.6	23,882.5	111,999.0	141,557.1

Fuente: MTC, (2018)

1.4.2. Relevancia social

Permitir el desarrollo o crecimiento tanto económico, social y cultural para el beneficio no solo de los usuarios de este tipo de carreteras sino en realidad de toda la sociedad peruana.

1.4.3. Implicancia práctica

Como resultado de la presente investigación se obtendrá un cuadro con la información de los estándares mínimos que se utilizarán para la adecuada elaboración del diseño geométrico de las trochas carrozables, de manera que los ingenieros y la comunidad técnica nacional en la especialidad, tengan a su alcance un documento que sirva como guía para un adecuado y provechoso diseño geométrico, para este tipo de caminos que son sumamente relevantes para el país.

1.5. Limitaciones de la investigación: temporal espacial y temático

Para la obtención de la información de este trabajo de investigación, se tuvo que recurrir a diferentes manuales de otros países que se encontraban escritos en su idioma de origen, entre estos países se encontraban: EE.UU., Australia, Etiopía y Brasil, asimismo para la búsqueda y adquisición de los manuales del extranjero se ocasionaron dificultades al no ser tan accesibles obtenerlos, lo mismo que sucedió con el manual emitido por el MTC en el año 1978.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. En el ámbito Internacional

Arguelles (2013). En su trabajo de graduación tuvo como objetivo principal revisar los criterios de diseño geométrico de carreteras y proponer parámetros de diseño para las carreteras en Costa Rica, ya que este país no cuenta con un manual de diseño geométrico propio, careciendo de un marco de referencia que se ajuste a la realidad del país.

El estudio de una alternativa que se enfoque específicamente a los elementos que dispone el país, permite regular los diseños futuros y revisar los diseños existentes. La disposición de los parámetros correctos para el diseño, permitirán al diseñador proyectar una carretera que cuente con los elementos necesarios para que ésta sea funcional, segura y cómoda.

Para ello el autor revisó y comparó los criterios de diseño de los parámetros geométricos de los manuales internacionales de: AASHTO (2004) de EE.UU., Bañon Blázquez & Bevía García (2000) de España, Gobierno de Chile (2009) de Chile, SCT (1991) de México, MTC (2001) de Perú y SIECA (2004) de Centroamérica, de tal manera que se obtengan criterios específicos para Costa Rica que contribuyan a un adecuado diseño geométrico para sus carreteras.

Finalmente, el autor presentó las siguientes recomendaciones de los parámetros de diseño geométrico:

Tabla N° 13: Recomendaciones de parámetros geométricos del autor

Criterio o parámetro	Ecuación recomendada	Fuente
Sobreeanchos	$S = n \left(R - \frac{R^2 - L^2}{2} \right) + \frac{0.10V}{\sqrt{R}}$	SIECA
Altura de ojos	1.08 m	AASHTO
Tiempo de reacción	2.5 s	AASHTO
Distancia de visibilidad de parada	$DVP = \frac{V \cdot t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254(r + i)}$	Chile/SIECA
Distancia de visibilidad de adelantamiento	$DVA = 60 + 4.56V$	Norma Española
	$DVA = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	AASHTO

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. En el ámbito Nacional

Los antecedentes nacionales que contribuyeron con la presente investigación, fueron los siguientes:

MTC (1978). Las Normas Peruanas para el Diseño de Carreteras, fue publicada en 1970, por la Dirección de Infraestructura Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es el documento Técnico Oficial, en el cual se basan todos los estudios para proyectos de carreteras. Estas normas sin embargo tienen un carácter general y están orientadas primordialmente a los aspectos técnicos de detalle que se requieren para el diseño de vías de las categorías capaces de dar servicio a volúmenes de tráfico mayores a 400 veh/día, haciéndose solamente referencia en algunos acápite a condiciones particulares que deben observarse en los caminos que sirven a un tráfico inferior al señalado. De acuerdo a las estadísticas de tránsito en el año 1976, el 90% de la Red Vial Nacional soporta un volumen de tráfico inferior a 250 vehículos por día, por ende se puede afirmar que una elevada proporción de nuestros caminos está siendo sobre-diseñada o en otro caso, estarían siendo construidos sin sujetarse a ninguna norma debidamente establecida. Por lo tanto queda en evidencia la necesidad de cubrir el vacío existente, proponiendo un conjunto de criterios básicos y normas que complementen a las que se encuentran en vigencia, y mediante las cuales pueda lograrse un aprovechamiento mas racional de las inversiones, haciendo uso intensivo de los recursos naturales y humanos disponibles, especialmente en aquellos caminos que por su ubicación, finalidad o características de tráfico puedan ser clasificados como pertenecientes al Sistema Vecinal. En tal efecto, la Asesoría Técnica de la Dirección de Ingeniería ha elaborado el Proyecto de “Normas Técnicas para el Diseño de Caminos Vecinales”, con las cuales se espera lograr un esclarecimiento de conceptos que permitan definir las necesidades básicas de infraestructura vial, en el Sistema Vecinal, así como también propiciar la adopción o intensificación de métodos constructivos que respondan efectivamente a las condiciones de nuestro medio y a la realidad socio económica del país. (p.1)

MTC (2001). El Manual de “Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001)”, segunda edición fue aprobado mediante Resolución Directoral N° 143-2001-MTC/15.17. el 12 de marzo del 2001. El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTC), a través de La Dirección General de Caminos, teniendo en cuenta las condiciones actuales del sistema vial del país, ha promovido la actualización de la normativa vigente, para lo cual ha preparado el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001). El objetivo de este Manual es brindar, a la comunidad técnica nacional, un documento actualizado para uso en el campo del Diseño de Carreteras, conformando un elemento que organiza y recopila las Técnicas de Diseño Vial desde el punto de vista de su concepción y desarrollo en función de determinados parámetros, considerando los aspectos de conservación ambiental y de seguridad vial, coherentes con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, de reciente actualización, y de las Normas Oficiales vigentes. (p.4)

MTC (2005). El Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, fue aprobado el 16 de Noviembre del 2005 mediante Resolución Directoral N° 084-2005-MTC/14, en él se establecen los criterios técnicos sólidos y coherentes que servirán para la construcción, rehabilitación y mejoramiento de caminos con superficie de rodadura de material granular, que corresponden a la mayor parte de los caminos en nuestro país, asimismo el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001), era utilizado complementariamente en todo aquello aplicable que no estaba considerado en el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de BVT. (p.2)

MTC (2008). Este manual titulado “Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, fue aprobado por Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02 el 04 de Abril del 2008, contiene las técnicas de diseño vial, así como las tecnologías apropiadas que propician el uso intensivo de la mano de obra y de los recursos locales de las Carreteras no Pavimentadas BVT, las cuales son vías que conforman el mayor

porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Complementariamente el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001) rige en todo aquello, aplicable, que no es considerado en el MDCNPBVT-2008.

El 21 marzo del 2014, mediante Resolución Ministerial N° 137-2014-MTC/02, se derogó tácitamente el Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de BVT, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001 y el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de BVT, ya que el Manual de Carreteras- Diseño Geométrico DG-2013, el cual fue aprobado el 18 de Diciembre de 2013 por Resolución Directoral N° 31-2013-MTC/14, comprendía todos los conceptos, procedimientos y documentos técnicos de estas normas. (p.6)

MTC (2013). El Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2013)”, forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio, por los órganos responsables de la gestión. La presente versión Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2013)”, es la actualización del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001), y está organizado en capítulos, secciones, tópicos, artículos y acápite, que abarcan las diferentes etapas y actividades. (p.9)

MTC (2014). Este manual denominado Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”, es un documento normativo que organiza y recopila las técnicas y procedimientos para el diseño vial, en función a su concepción y desarrollo, y acorde a determinados parámetros, fue aprobado el 30 de octubre del 2014 mediante Resolución Directoral N°028-2014- MTC/14 y es la actualización del Manual DG-2013, ya que, como toda ciencia y técnica, la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación. (p.5)

MTC (2018). El manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2018)”, fue aprobado el 30 de enero del 2018, mediante Resolución Directoral N°03-2018-MTC/14, éste manual es la actualización del Manual de Diseño

Geométrico de Carreteras (DG-2014) y es el actual manual en vigencia del Perú. (p.8)

2.2. Bases teóricas

Cueva (2018). Mediante la investigación que tuvo como objetivo fundamental evaluar las características geométricas de la carretera Paccha – Iglesia Pampa – Centro Poblado Laurel Pampa (km 00.0+00 – km 5.5 +00), con los parámetros de la norma DG-2013, la cual según su jurisdicción pertenece al sistema vecinal o rural, según su orografía sería de Tipo 2, de acuerdo a la demanda como una carretera de tercera clase y presentando un ancho de calzada y radio mínimo de 5.50 m y 15 m respectivamente. Para ello se realizó el análisis y comparación de las características geométricas obtenidas en planta, perfil y secciones transversales con el Manual DG-2013.

El autor concluye de la evaluación geométrica que:

- La longitud de tramos en tangente el 84% no cumplió, de la longitud de curvas horizontales el 100% no cumplió, del ancho de la plataforma el 76% no cumplió, de los anchos de cuneta el 57% no cumplió; por ende, por incidencia de los porcentajes se afirmó que son parámetros inseguros.
- Los radios mínimos el 63% cumplió, de la longitud de transición de peralte el 92% cumplió, de la evaluación de pendientes el 54% cumplió, de la longitud de curvas verticales el 100% cumplió, la visibilidad el 53% cumplió, con respecto al sobreebanco el 62% cumplió, los peraltes el 98% cumplió, del talud de corte y relleno el 86% cumplió, sobre el alto de la cuneta el 99% cumplió; por incidencia de porcentaje se determina que son parámetros seguros.

Tabla N° 14: Cuadro resumen de parámetros inseguros

Parámetros inseguros	Cumple	No cumple
Long. de tramos en tangente	16%	84%
Long. de curvas horizontales	–	100%
Ancho de la plataforma	24%	76%
Ancho de cuneta	43%	57%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 15: Cuadro resumen de parámetros seguros

Parámetros seguros	Cumple	No cumple
Radio mínimo	63%	37%
Long. de transición de peralte	92%	8%
De la evaluación de pendientes	54%	46%
Long. de curvas verticales	100%	–
Visibilidad	53%	47%
Sobreebanco	62%	38%
Peralte	98%	2%
Del talud de corte y relleno	86%	14%
Alto de cuneta	99%	1%

Fuente: Elaboración propia.

Ya que la carretera no cumple con algunos parámetros de Diseño Geométrico del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2013, por lo tanto, se recomienda mejorar la calidad de ciertos dispositivos de control que ayuden a garantizar la seguridad vial.

Carrera (2017). En su tesis de pregrado que tuvo como objetivo principal, realizar el diseño geométrico de la carretera del tramo Oromalqui – Pueblo Nuevo – Paruque Alto – Alan Gabriel, distrito de Julcán, provincia de Julcán, departamento La Libertad”, para mejorar la calidad de vida de la población, dándoles accesibilidad terrestre y unión a la red vial hacia la ciudad, empleando para ello el Manual de Diseño de Carreteras DG-2014.

De la investigación se precisó que el estado actual de la carretera es una vía que cuenta con un solo carril, los anchos de la vía oscilan entre 3.5 m y 4 m, no cuentan con radios mínimos de giro, obras de arte (cunetas, aliviaderos, alcantarillas, etc.), distancia de visibilidad y señalización; de modo que son trochas que no tienen ningún tipo de estudios, ni criterios técnicos que avalen su diseño geométrico.

Así se muestra en la Tabla N° 16 las características geométricas actuales de la vía determinados en el estudio, los cuales no cumplen con la normativa vigente del DG-2014:

Tabla N° 16: Características geométricas de la vía

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
• Superficie de rodadura	Trocha - Piedra - Huecos
• Ancho de vía	4.5 metros
• Longitud total	5700 metros
• Pendientes mínimas	No cumple - DG 2014
• Pendientes máximas	No cumple - DG 2014
• Radio mínimo	No cumple - Curvas cerradas
• Bermas en ambos lados	No cumple - DG 2014
• Cunetas	No cumple - Algunas Zonas

Fuente: Tesis de Carrera (p.49)

Con esta información se procede a hacer el diseño de la vía tomando en cuenta la normativa del manual de diseño geométrico de carreteras DG-2014, para lo cual se tomó en cuenta varios puntos como la orografía, estudio de tráfico y con la ayuda de un Software de Diseño AutoCAD Civil 3D, se diseñó la carretera teniendo en cuenta las características de los caseríos que influyen en la zona de estudio. Obteniendo como resultados finales los valores que se muestran en la siguiente Tabla N°17:

Tabla N° 17: Diseño propuesto con normativa DG-2014

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	TRAMO INICIAL - TRAMO FINAL
• Características de la Vía	3° Clase
• Orografía de la Vía	Tipo 3
• Velocidad Directriz	Vd → 30 km/h
• Ancho de Calzada	6.00 m
• Bermas	0.50 m
• Bombeo	2.5%

Fuente: Tesis de Carrera (p.248)

El autor concluyo, que mediante el levantamiento topográfico alrededor de toda la carretera en estudio (Oromalqui - Alan Gabriel), con una longitud de 7456 m, obtuvo como resultado una topografía accidentada, con pendientes entre 3% y 10%, el cual para el diseño se consideró una pendiente máxima de 9.8% con la norma DG-2014, así como en el diseño geométrico se concluyó considerando una carretera de 3ra clase con una velocidad de diseño de 30 km/h y con una pendiente máxima de 10%.

Silva (2019). En su investigación de tesis, tuvo como objetivo principal evaluar los parámetros geométricos de diseño del camino vecinal Santa Rosa – Chaupelanche (Km 00+000 – Km 05+000), ya que este camino presenta diversas características geométricas deficientes en el alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, ya que no es más que una vía improvisada construida por los mismos pobladores de la zona sin la aplicación y conocimiento de normativas correspondientes al diseño vial, para lo cual se fundamentó del manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MDCNPBVT) de 2008, debido a que el promedio del tráfico semanal es de 28 vehículos, para luego determinar si se cumple con esta normativa, en caso contrario de no cumplirse, será de aporte en un futuro en la etapa correspondiente a su pavimentación o mejoramiento.

El autor determinó que las características geométricas correspondientes al alineamiento horizontal tales como: los radios mínimos son los adecuados cumpliendo en un 100%, las distancias de visibilidad en las curvas horizontales son las adecuadas cumpliendo en un 86% y los sobrecanchos cumplen en un 54%. En el alineamiento vertical se precisó que: las pendientes máximas son las adecuadas cumpliendo en un porcentaje de 79% y las longitudes de curvas verticales son las apropiadas cumpliendo en su totalidad en 100%. En cuanto a la sección transversal: los taludes de corte cumplen en un 97% y los taludes de relleno cumplen en un 95%. Asimismo, las características geométricas correspondientes al alineamiento horizontal como: las longitudes de tramos en tangente no son adecuados ya que no cumplen en un 68% y las longitudes de curvas horizontales no son las adecuadas no cumpliendo en un porcentaje de 99%. Para el alineamiento vertical: los anchos de bermas y calzada no son los adecuados presentando un porcentaje de incumplimiento de 65%, los peraltes tampoco son los adecuados incumpliendo en un 59% y las dimensiones de las cunetas no cumplen en su totalidad esto quiere decir en un 100%. A continuación, se presenta una tabla resumen del análisis del camino o vía:

Tabla N° 18: Resumen del análisis del camino vecinal

PARÁMETROS	km 00+000-05+000				
	Cumple	%	No cumple	%	Norma
Longitud en tramos en tangente	32	32	68	68	DG-2018
Radios	100	100	0	0	MDCNPBVT
Longitud de curvas horizontales	1	1	99	99	MDCNPBVT
Distancia de visibilidad en curvas horizontales	38	86	6	14	MDCNPBVT
Sobreanchos	54	54	46	46	MDCNPBVT
Pendiente	23	79	6	21	MDCNPBVT
Longitud de curvas verticales	28	100	0	0	DG-2018
Ancho de bermas y calzada (corona)	87	35	164	65	MDCNPBVT
Peraltes	41	41	59	59	MDCNPBVT
Taludes de corte	245	97	7	3	MDCNPBVT
Taludes de relleno	238	95	12	5	MDCNPBVT
Cunetas	0	0	251	100	MDCNPBVT

Fuente: Tesis Silva (p.121)

Finalmente el autor llegó a la conclusión por incidencia de porcentajes que las características geométricas del camino vecinal cumplen en un 60% y en un 40% no cumplen con el manual DCNPBVT, de esta manera se evidencia que las características geométricas del camino vecinal Santa Rosa – Chaupelanche son deficientes, de ahí la importancia que señala el autor sobre la necesidad de que el Ministerio de Transporte emita normas de diseño vial que garanticen proyectos que se realicen de manera eficiente y eficaz, puesto que indica que uno de los problemas más importantes que afectan al país es justamente la escasa existencia de vías adecuadas, señalando que muchas de estas vías se han realizado por iniciativa propia de los mismos pobladores sin la aplicación de conocimientos de normativa vial, conllevando ello a una inadecuada funcionalidad para los usuarios.

Cáceres (2019). En su tesis el autor, tiene como propósito u objetivo evaluar la seguridad de la carretera Santa Cruz-Quíno-El Sauce-Mitopampa (12+545 km.), a través del correcto diseño de sus parámetros de diseño geométrico de acuerdo al manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MDCNPBVT) de 2008, ya que esta vía tiene un IMDA de 25 veh/día y un carril con un ancho de 4m, el resultado del análisis de diseño geométrico de los parámetros se muestra en la Tabla N°19:

Tabla N° 19: Resultado del análisis geométrico de la vía

Parámetros de diseño geométrico	Cumple (%)	No cumple (%)
Longitud de transición de peralte	62.6	37.4
Distancia de visibilidad en curvas horizontales	41.27	58.73
Peralte máximo	75.35	24.65
Radio mínimo de curvatura	85.6	14.4
Sobreancho de la calzada en curvas circulares	90.86	9.14
Longitud de curva vertical convexa y cóncava	96.99	3.01
Pendiente máxima	70.36	29.64
Ancho de calzada	100	0
Ancho de bermas	0	100

Fuente: Elaboración propia.

La investigación concluye que la carretera no cumple con los parámetros de diseño geométrico establecidos en la norma MDCNPBVT-2008 y que por lo tanto se encontró que los mayores índices de accidentes de tránsito se encuentran dentro de las características geométricas que no cumplen con los parámetros mínimos de diseño establecidos por la norma, de allí la importancia que señala el autor de realizar un apropiado diseño geométrico para los caminos o carreteras y el cumplimiento que se debe tener con las normas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para así evitar la inseguridad vial.

2.3. Definiciones Conceptuales

- **Trochas Carrozables**

Son caminos de superficie de rodadura que pueden afirmadas o sin afirmar, que mayormente tienen un IMDA menor a 200 veh/día y un ancho de calzada que deben ser como mínimo de 4.00 m construyéndose plazoletas de cruce como mínimo cada 500 m (MTC, 2018).

- **Sección transversal**

“La representación transversal al eje de la vía de una carretera a distancias específicas se denomina sección transversal, pudiéndose observar en ella sus elementos que la conforman y sus dimensiones, a su vez se clasifica en dos tipos: Sección Transversal General y Especial (MTC, 2018).

- **Alineamiento Vertical**

Conjunto de rectas que son unidas a través de curvas verticales parabólicas y a de las cuales estas rectas son tangentes. El sentido será positivo de las pendientes si

se da un aumento de cotas y negativo cuando se dé una disminución de cotas (MTC, 2018).

- **Seguridad Vial**

“Acciones destinadas a la prevención de accidentes a los usuarios de las vías y aumentar su calidad de conservación.” (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p. 20).

- **Calzada**

“Superficie del pavimento capaz de soportar directamente las cargas que se ejercen sobre ella.” (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.6).

- **Berma**

“Faja longitudinal ubicada de forma paralela y adyacente a la calzada de una carretera, en casos de emergencia su función es la de servir como área de estacionamiento para los vehículos.” (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p. 5).

- **Sobreancho**

“Ampliaciones adicionales que se encuentran en las curvas de las superficies de rodaduras, con el objetivo de compensar el área utilizada por los vehículos.” (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p. 21).

- **Curva vertical**

“Es la curva en elevación que une dos niveles terminados de superficie de rodadura que tienen diferentes pendientes”. (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p. 9).

- **Curva horizontal**

“Es aquella curva circular que enlaza los tramos rectos en el plano horizontal de una carretera”. (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p. 9).

- **Tránsito**

“Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía”. (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2013, p. 47).

- **Plazoleta de cruce**

“Sección ensanchada de una carretera de un solo carril, destinada a facilitar el adelantamiento o el volteo del tránsito”. (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2013, p. 38).

2.4. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

En el año 1978 se definía a la trocha carrozable como:

La categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores, constituido con un mínimo movimiento de tierras suficiente únicamente para proveer una superficie de sección transversal que permita el paso de un vehículo y cuyos alineamientos horizontal y vertical se ajustan a las deflexiones del terreno. (...). (MTC, 1978, p.3)

En el año el 2001 en el Manual de Diseño Geométrico (DG-2001) se tenía como definición para las trochas: “la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo” (MTC, 2001, p. 27).

Para el año 2005 y 2008, se empleó el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito; donde define a la trocha carrozable como “un camino con IMD indefinido, de un sendero; cuya estructura y superficie de rodadura es suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado” (MTC, 2008, p. 8).

Mientras que el año 2013 ,2014 y 2018, se trabajó con el Manual de Carreteras Diseño Geométrico (DG - 2013, 2014 y 2018), los cuales definen a la trocha carrozable como:

Vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (MTC, 2018, p. 13).

A continuación, se muestra la Tabla N° 20, que muestra la comparación de la definición de trocha carrozable de los manuales que ha emitido el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) desde el año 1978 hasta el 2018:

Tabla N° 20: Cuadro comparativo del concepto de Trocha Carrozable

DEFINICIÓN DE TROCHAS CARROZABLES	
MANUALES DE MTC	DEFINICIÓN
Manual DG-(2018.2014 y 2013)	* Vías transitables que no alcanzan las características geométricas de una carretera. * IMDA por lo general menor a 200 veh/día. * Ancho mínimo de calzada 4m. * Superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.
Manual para el diseño de Caminos No Pavimentados de BVT (2008 y 2005)	* IMDA indefinido. * No especifica ancho de la calzada. * Superficie de rodadura de suelo natural en lo posible mejorado con grava natural.
Manual DG– 2001	* Categoría más baja de camino transitable, permite el paso de un solo vehículo. * IMDA no especificado. * Construido con un mínimo movimiento de tierras.
Norma para el Diseño de Caminos Vecinales- 1978	* Carreteras pioneras. * IMD no especificado. * Construido con un mínimo de movimiento de tierras.

Fuente: Elaboración Propia

2.4.1. Sección Transversal

El (MTC, 2018) hace mención de la sección transversal y dice lo siguiente:

El diseño geométrico de la sección transversal, consiste en la descripción de los elementos de la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de dichos elementos, en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

La sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que cumplan y de las características del trazado y del terreno. El elemento más importante de la sección transversal es la zona destinada a la superficie de rodadura o calzada, cuyas dimensiones deben permitir el nivel de servicio previsto en el proyecto,

sin perjuicio de la importancia de los otros elementos de la sección transversal, tales como bermas, aceras, cunetas, taludes y elementos complementarios. Constituyen secciones transversales singulares, las correspondientes a las intersecciones vehiculares a nivel o desnivel, los puentes vehiculares, pasos peatonales a desnivel, túneles, estaciones de peaje, pesaje y ensanches de plataforma. En zonas de concentración de personas, comercio y/o tránsito de vehículos menores, maquinaria agrícola, animales y otros, la sección transversal debe ser proyectada de tal forma que constituya una solución de carácter integral a tales situaciones extraordinarias, y así posibilitar, que el tránsito por la carretera se desarrolle con seguridad vial. En el caso de centros comerciales adyacentes a la carretera, el proyectista deberá considerar la posibilidad de disponer de vías o calzadas especiales y carriles de cambio de velocidad, tanto para el ingreso como para la salida de los vehículos, de manera que no constituyan un factor de reducción del nivel de servicio y seguridad de la vía principal.

- Elementos de la sección transversal

Los elementos que conforman la sección transversal de la carretera son: carriles, calzada o superficie de rodadura, bermas, cunetas, taludes y elementos complementarios (barreras de seguridad, ductos y cámaras para fibra óptica, guardavías y otros), que se encuentran dentro del Derecho de Vía del proyecto. Cuando el tránsito de bicicletas sea importante, deberá evaluarse la inclusión de carriles especiales para ciclistas (ciclovías), separados tanto del tránsito vehicular como de los peatones. (...)

Asimismo, en la Figura N°1, se muestra una sección transversal típica para carretera con una calzada de dos carriles, en poblaciones rurales con concentración de personas, comercio y/o tránsito de vehículos menores. (p. 183)

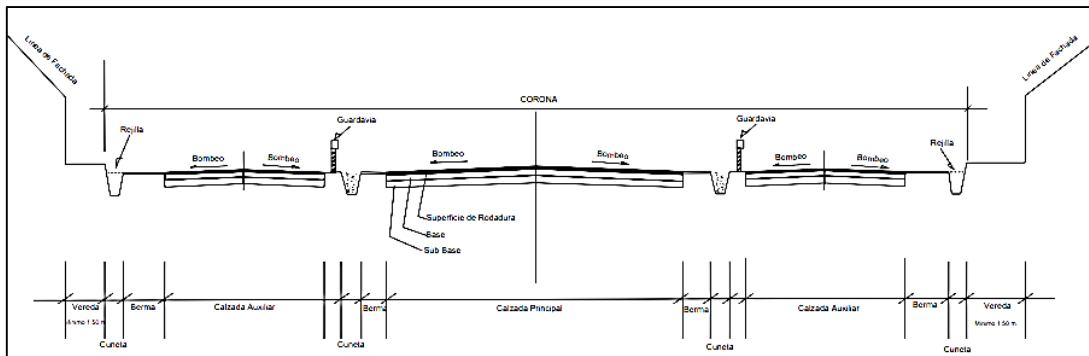


Figura N° 1: Sección típica de vía con una calzada de dos carriles
Fuente: Manual MTC-2018

Cárdenas (2015) en su libro titulado “Diseño Geométrico de Carreteras” afirma sobre la sección transversal lo siguiente:

Geoméricamente, la sección transversal de una carretera está compuesta por el ancho de zona o derecho de vía, el ancho de explanación, el ancho de banca o plataforma, la corona, la calzada, los carriles, las bermas, las cunetas, los taludes laterales y otros elementos complementarios. En la Figura N°2, se detallan estos elementos, para el caso de una vía pavimentada de sección transversal mixta, corte y terraplén, ubicada en recta o en tangente. (p. 409)

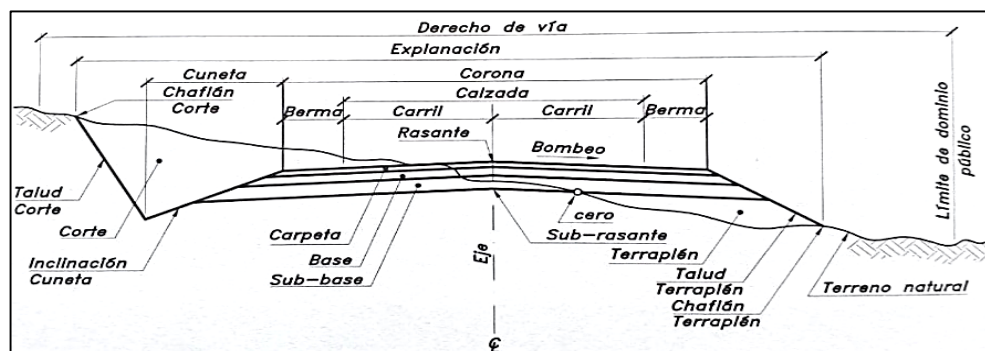


Figura N° 2: Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta
Fuente: “Diseño Geométrico de Carreteras”, por Cárdenas (2015, p.410)

Kraemer et al. (2003) en su libro Ingeniería de Carreteras mencionan que:

La sección transversal de una carretera influye fundamentalmente en la superficie que ocupa, en los costes de su construcción y de su conservación, y en su explotación (fluidez y seguridad de la circulación). El elemento más importante de la sección transversal es la zona destinada al tránsito normal de los vehículos o calzada, generalmente compuesta por un cierto número de

carriles. La calzada puede ser única, coexistiendo en ella ambos sentidos de circulación sin una separación física; o puede haber calzadas separadas (por una mediana) para cada sentido de circulación, con el consiguiente aumento de la fluidez y de la seguridad. En algunos casos de vías urbanas con una circulación muy intensa, para que el número de carriles de una calzada no resulte excesivo se recurre a unos sistemas de calzadas centrales y laterales, con unos ramales de conexión entre ellas.

Pero no se pueden descuidar otras partes de la plataforma no destinadas a la circulación normal, como son los arcenes y las bermas (fuera de poblado) o de las aceras (en zona urbana). Por otro lado, hay que considerar las márgenes de la carretera (las zonas exteriores a la plataforma y contiguas a ella), que tienen una gran influencia en la gravedad de muchos accidentes de circulación, especialmente los causados por la salida de un vehículo fuera de la plataforma. En las carreteras con calzadas separadas desempeña un papel análogo la mediana, que es la franja de terreno comprendida entre ambas.

Las dimensiones y las demás características de todos estos elementos de la sección transversal (Figura N° 3) dependen del tipo de carretera, de su entorno, de la intensidad de la circulación, etc. (p. 255)

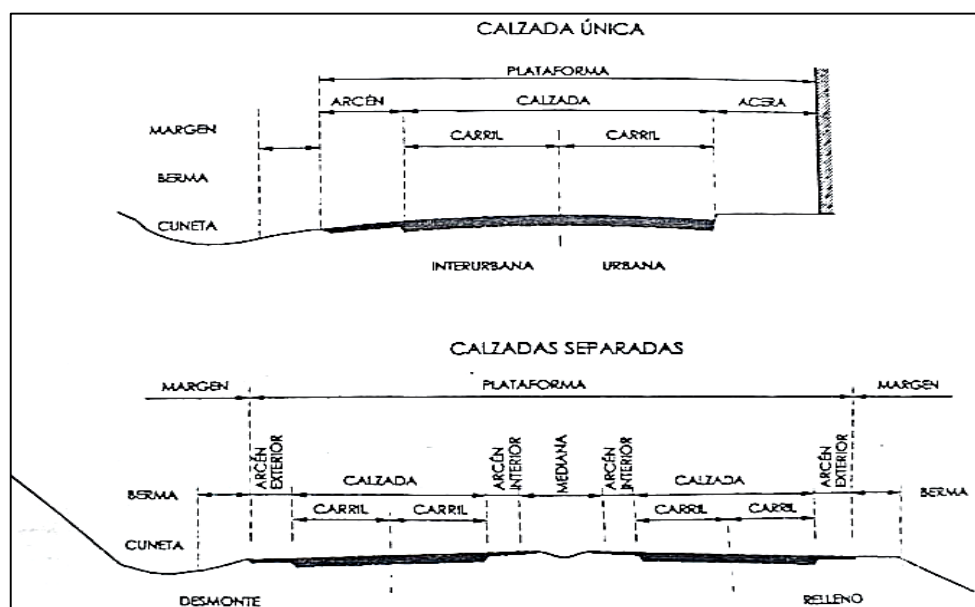


Figura N° 3: Elementos de la sección transversal
 Fuente: "Ingeniería de Carreteras", por Kraemer et al. (2003, p.256)

Céspedes (2001) sobre la sección transversal señala lo siguiente:

Diseñar con acierto la sección transversal de una carretera es un problema complicado, ya que de ésta depende, en proporción importante, la capacidad de tráfico de la vía y, al mismo tiempo, la sección transversal pesa fundamentalmente en el costo total de construcción y de la explotación.

Para proyectar con acierto la sección transversal, es imprescindible prever el tráfico futuro que ha de servir y encontrar la solución más conveniente, proyectando con visión amplia el porvenir y con sentido económico, para no hacer el proyecto irrealizable o al menos, económicamente inconveniente.

Para coordinar ambas necesidades, es aquí, donde se debe tener como guía el lema de máxima ambición al proyectar, ejecutando de momento solo aquello que es estrictamente necesario, pero haciendo posible para el futuro una ampliación fácil y económica; que la falta de visión al proyectar no constituya un obstáculo insuperable para la ampliación. (...)

En el diseño de carreteras podemos considerar carreteras no divididas y carreteras divididas.

Los elementos que constituyen la sección transversal típica de una carretera rural no dividida, se indican en la Figura N° 4. De estos, unos se refieren a la sección geométrica y otros a la sección estructural. (...)

Geoméricamente, la sección transversal queda definida por los siguientes elementos:

- Carriles de circulación.
- Bermas.
- Cunetas.
- Taludes laterales.
- Obras de drenaje y longitudinal.

2.4.1.1. Calzada

Para el (MTC, 2018) la calzada se define como:

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma. La calzada se divide en carriles, los que están destinados a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

El número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones y composición del tráfico, acorde al IMDA de diseño, así como del nivel de servicio deseado. Los carriles de adelantamiento, no serán computables para el número de carriles. Los anchos de carril que se usen, serán de 3.00 m, 3.30 m y 3.60 m.

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- En autopistas: El número mínimo de carriles por calzada será de dos.
- En carreteras de calzada única: Serán dos carriles por calzada.

Ancho de la calzada en tangente

El ancho de la calzada en tangente, se determinará tomando como base el nivel de servicio deseado al finalizar el período de diseño. En consecuencia, el ancho y número de carriles se determinarán mediante un análisis de capacidad y niveles de servicio.

En la Tabla N°21, se indican los valores del ancho de calzada para diferentes velocidades de diseño con relación a la clasificación de la carretera. (p.190).

Tabla N° 21: Anchos mínimos de calzada en tangente

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera									
	> 6,000				6,000 – 4,001				4,000-2.001				2,000-400				< 400					
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase					
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Velocidad de diseño: 30km/h																					6.00	6.00
40 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00	6.00
50 km/h											7.20	7.20			6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60		
60 km/h					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60		
70 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	6.60	6.60	6.60	6.60				
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			6.60	6.60				
90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			7.20				6.60	6.60				
100 km/h	7.20	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																					

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p.191)

La comparación del ancho de calzada de los distintos manuales que se emitieron en el Perú por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se muestra en la Tabla N° 22:

Tabla N° 22: Cuadro comparativo de anchos mínimos de calzada

ANCHOS MÍNIMOS DE CALZADA EN TANGENTE		
Manuales de Carreteras	DG-2018	6.00 m
	DG-2014	6.00 m
	DG-2013	6.00 m
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	3.50 m
	BVT-2005	3.50 m
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	6.00 m

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°22, se muestra la evaluación realizada del ancho mínimo de calzada en tangente de una trocha carrozable con los diferentes manuales del MTC , se tendría tomando como un caso particular de velocidad de diseño de 30 km/h y una orografía tipo 4 (terreno escarpado), en el año de 1978 un valor de 6.00 m, en el 2005 y 2008 de 3.50 m y por último en los años 2013, 2014 y 2018 de 6.00 m pero ajustando los valores al de una carretera de tercera clase, ya que este parámetro evaluado solo está establecido hasta para carreteras de tercera clase, es decir no se podría precisar correctamente con estas normativas (de los años 2013, 2014 y 2018) dejandose al criterio del ingeniero proyectista, ya que tampoco existe alguna restricción.

Cárdenas (2015) sobre la calzada afirma que:

La calzada o superficie de rodamiento, es aquella parte de la sección transversal destinada a la circulación de los vehículos, constituida por uno o más carriles para uno o dos sentidos. Cada carril tendrá un ancho suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. El ancho y el número de carriles de la calzada se determinan con base en un análisis de capacidad y nivel de servicio deseado al final del período de diseño.

Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 3.00 m, 3.30 m, 3.50 m y 3.65 m, respectivamente. En la Tabla N° 23 se suministran los anchos de calzada recomendados en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño. (p. 410)

Tabla N° 23: Anchos recomendados de calzada en recta

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño del tramo homogéneo V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: "Diseño Geométrico de Carreteras", por Cárdenas (2015, p. 410)

Kraemer et al. (2003) sostienen que:

La calzada es la zona de la plataforma de una carretera destinada a la circulación segura y cómoda de los vehículos. Para ello es necesario que su superficie esté pavimentada de forma que sea posible utilizarla prácticamente en todo tiempo, salvo quizás en situaciones meteorológicas excepcionales; el tipo de firme, en general, no está directamente relacionado con sus dimensiones.

La calzada se suele dividir en varias franjas paralelas, denominadas carriles, cada una de ellas con una anchura suficiente para que circule una fila de vehículos. (p. 255)

Céspedes (2001) menciona lo siguiente con respecto a la calzada:

La superficie de rodadura está constituida por uno o más carriles.

Carril: Es la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

Ninguna otra característica de la carretera tiene mayor influencia en la seguridad y el confort del usuario de la vía que el ancho de este elemento y el estado de su superficie.

A lo largo de una carretera, el ancho de la superficie de rodadura puede ser variable: depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y, excepcionalmente, en el vertical. Usualmente, este ancho se refiere al ancho en tangentes del alineamiento horizontal.

Para determinar el ancho de la superficie de rodadura en tangente, es fundamental establecer el nivel de servicio deseado al final del plazo de previsión de vida de la carretera o en un determinado año y los datos relacionados con el tamaño y limitaciones de operación de los vehículos que usarán la vía. Con estos datos y los estudios económicos correspondientes podrá determinarse el número y el ancho de carriles necesarios para satisfacer una demanda.

El ancho del carril que se adapta a las condiciones de tráfico previstas no es un concepto evidente, sino que ha aparecido después de haberse realizado estudios extensivos de corrientes vehiculares con vehículos moviéndose a distintas velocidades y en diversas condiciones de composición de tráfico.

Debido al aumento del volumen de tráfico en las carreteras, las mayores velocidades a que hoy se circula en ellas y el mayor ancho de los camiones que los utilizan, las carreteras rurales han pasado de las antiguas medidas de 4.87 y 5.50 m de ancho a 6.60 y hasta 7.90 m.

Por observaciones en numerosas carreteras rurales de dos carriles señalan que superficies de rodaduras de menos de 6.70 m son peligrosas, aún para pequeños volúmenes de tráfico y que para permitir la debida separación entre vehículos comerciales se requiere un mínimo de 7.30 m de superficie de rodadura.

No obstante, esto, se sigue proyectando carreteras con anchos de carril de 2.75 y 3.05 m, aunque actualmente, lo usual suele ser el carril de 3.35 y 3.65 m, Figura N° 5; con notable preferencia por el ancho de 3.35 m e incluyéndose, dos, cuatro y hasta más carriles por superficie de rodadura.

En tangentes del alineamiento vertical con fuertes pendientes, puede ser necesario ampliar la superficie de rodadura con la adición de un carril, para

que por él transiten los vehículos lentos, mejorando así la capacidad y el nivel de servicio del tramo.

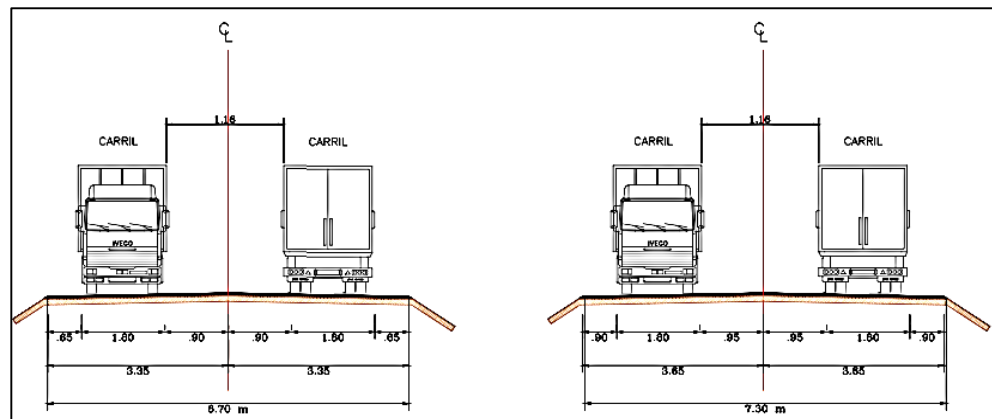


Figura N° 5: Posiciones de vehículos comerciales
Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p.289)

El ancho y la longitud de ese carril se determinan mediante un análisis de operación de los vehículos pesados, (...).

En las curvas horizontales, el ancho del carril ocupado por los vehículos es mayor que en las tangentes. Ello se debe a que las ruedas traseras del vehículo siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras y a que los conductores tienen, generalmente dificultad para mantener su vehículo en el eje del carril correspondiente. (...).

Ahora bien, no obstante que, desde el punto de vista del confort, facilidad de operación y seguridad, los carriles de 3.65 m son en la actualidad los ideales, no siempre son económicamente recomendables. Por ello, la AASHTO recomienda fijar el ancho del carril en relación con la demanda de tráfico sugiriendo dimensionar la superficie de rodadura según la Tabla N° 24, en función del volumen y la velocidad de diseño. (pp. 287-289)

Tabla N° 24: Anchos mínimos de calzada de carreteras de 2 carriles

Velocidad directriz km/h	Ancho mínimo (m), para superficies de rodadura de dos carriles, según los volúmenes de diseño				
	PDT actual 50-250	PDT actual 250-400	PDT actual 400-750		
			VHP 100-200	VHP 200-400	VHP 400 o más
50	6.10	6.10	6.10	6.70	7.30
65	6.10	6.10	6.70	6.70	7.30
80	6.10	6.10	6.70	7.30	7.30
95	6.10	6.70	6.70	7.30	7.30
110	6.10	6.70	7.30	7.30	7.30
130	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
PDT = Tráfico promedio diario (Tráfico medio anual)					
VHP = Volumen horario de diseño (Volumen total de tráfico en las dos direcciones)					

Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p. 289)

2.4.1.2. Berma

Según el (MTC, 2018) indica lo siguiente:

Franja longitudinal, paralela y adyacente a la calzada o superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencias.

Cualquiera sea la superficie de acabado de la berma, en general debe mantener el mismo nivel e inclinación (bombeo o peralte) de la superficie de rodadura o calzada, y acorde a la evaluación técnica y económica del proyecto, está constituida por materiales similares a la capa de rodadura de la calzada.

Las autopistas contarán con bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior. En las carreteras de calzada única, las bermas deben tener anchos iguales.

Adicionalmente, las bermas mejoran las condiciones de funcionamiento del tráfico y su seguridad; por ello, las bermas desempeñan otras funciones en proporción a su ancho tales como protección al pavimento y a sus capas inferiores, detenciones ocasionales, y como zona de seguridad para maniobras de emergencia.

La función como zona de seguridad, se refiere a aquellos casos en que un vehículo se salga de la calzada, en cuyo caso dicha zona constituye un margen

de seguridad para realizar una maniobra de emergencia que evite un accidente.

- Anchos de las bermas

En la Tabla N°25, se establece el ancho de bermas en función a la clasificación de la vía, velocidad de diseño y orografía. (p. 192)

Tabla N° 25: Anchos de berma

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera											
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 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				
Velocidad de diseño: 30 km/h																					0.50	0.50		
40 km/h																					1.20	1.20	0.90	0.50
50 km/h											2.60	2.60			1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.90				
60 km/h					3.00	3.00	2.60	2.60	3.00	3.00	2.60	2.60	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20						
70 km/h			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20		1.20	1.20						
80 km/h	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		2.00	2.00			1.20	1.20						
90 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00	3.00			2.00				1.20	1.20						
100 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00				2.00											
110 km/h	3.00	3.00			3.00																			
120 km/h	3.00	3.00			3.00																			
130 km/h	3.00																							

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p.193)

A continuación se muestra la Tabla N° 26, del cual se observa la comparación de anchos de berma de los distintos manuales elaborados por el MTC.

Tabla N° 26: Cuadro comparativo de anchos de berma

ANCHOS DE BERMA		
Manuales de Carreteras	DG-2018	0.50 m
	DG-2014	0.50 m
	DG-2013	0.50 m
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	0.50 m
	BVT-2005	0.50 m
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	0.30 m

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°26, se muestra la evaluación del ancho de berma para una trocha con los diferentes manuales del MTC, para el caso de velocidad de diseño de 30 km/h y una orografía tipo 4 (terreno escarpado), en el año 1978 se tiene un valor de 0.30 m, en el 2005 y 2008 de 0.50 m y en los años 2013, 2014 y 2018 también de 0.50 m pero ajustandose al de una carretera de tercera clase, ya que para trochas el valor de este parámetro no esta establecido ni restringido, de modo que queda al criterio del ingeniero proyectista.

Cárdenas (2015), explica sobre las bermas que:

Contiguo a la calzada se encuentran las bermas, que son fajas comprendidas entre las orillas de la calzada y las líneas definidas por los hombros de la carretera. Las bermas sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento, controlan la humedad y las posibles erosiones de la calzada. Eventualmente, se pueden utilizar para estacionamiento provisional y para dar seguridad al usuario de la carretera pues en este ancho adicional se pueden eludir accidentes potenciales o reducir su severidad. También se pueden utilizar para los trabajos de conservación. En la Tabla N°27 se representan los anchos de berma. (p. 411)

Tabla N° 27: Anchos recomendados de berma

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño del tramo homogéneo V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.0	2.0	2.5	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.8	2.0	2.0	2.5	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.5	1.5	1.8	1.8	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.5	1.5	1.8	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.0	1.5	1.8	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.0	1.0	1.5	1.8	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.5	0.5	1.0	1.0	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.5	1.0	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: "Diseño Geométrico de Carreteras", por Cárdenas (2015, p. 411)

Kraemer et al. (2003) refieren que la berma es:

La berma, o franja longitudinal de la carretera comprendida entre el borde exterior del arcén pavimentado y la cuneta o el terraplén. Es utilizada

eventualmente para colocar la señalización, la iluminación, el balizamiento, las comunicaciones, las barreras de seguridad, etc. (p.10)

Céspedes (2001) describe lo siguiente sobre la berma:

La berma (arcén, acotamiento u hombrillo), es aquella porción de la carretera entre el borde exterior del carril exterior de tráfico y el borde interno de la cuneta, canal, guarnición o talud.

Se debe considerar el proyecto de las bermas de manera que, cuando formen parte de la sección transversal, se aumente la eficiencia y seguridad del movimiento de los vehículos a lo largo de la carretera.

Los factores geométricos de la berma son: anchura, continuidad, diferencias tanto en los carriles de circulación como en las zonas que quedan más allá de la berma, pendiente transversal de la berma, presencia de guarniciones, frecuencia de entradas de drenaje, para lo que se va a utilizar.

El objetivo de las bermas es proteger los bordes del pavimento de su destrucción conteniéndolo lateralmente. Sirve también para el tránsito de peatones en caso sea necesario y puede servir de base para futuros ensanches cuando no se puede hacer la inversión inmediata de hacer el ensanche general. Proteger en general las explanaciones y en casos de emergencia el tráfico puede pasar sobre ellas; siguen la inclinación transversal de la carretera y comúnmente se las construye con pavimentos de resistencias inferiores a los del pavimento de la carretera.

Las bermas proporcionan un lugar para que los vehículos se estacionen para cambiar llantas, cuando se descompongan en cualquier otra forma, o para detenerse por cualquier otra razón. Si en el diseño se omiten las bermas o si estas son muy estrechas, la capacidad de la carretera disminuye y la oportunidad para que sucedan accidentes aumentará.

En algunos casos, toda la anchura de la berma se pavimenta o se trata; en donde la lluvia es bastante y fuerte y frecuente, se emplean las bermas con césped, para eso se necesita un terreno granular, ligeramente unido con limo o arcilla.

Para carreteras de dos carriles los anchos de bermas útiles mínimos recomendables, se indican en la Tabla N°28 según el promedio diario de tráfico y el volumen horario de diseño del año de proyecto. El ancho de berma

debe ser continuo a lo largo de las carreteras de alta velocidad y también sobre puentes y estructuras de drenaje arriba de 16.60 m de longitud.

Tabla N° 28: Anchos mínimos de bermas útiles

Volumen de diseño		Ancho de berma	
PDT actual	VHP	Mínimo	Recomendado
50 - 250	–	1.20	1.80
250 - 400	–	1.20	2.45
400 - 750	100 - 200	1.80	3.05
–	200 - 400	2.45	3.05
–	400 o más	3.05	3.65

Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p. 297)

Según la AASHTO, para autopistas, el ancho de la berma es de 3.33 m, excepto en terreno accidentado que incluyen un alto costo para el ancho adicional donde el mínimo es de 2.00 m y en carreteras con bajo volumen de tráfico, puede llegar hasta 1.20 m. Las bermas deben estar al nivel de la superficie del pavimento y deben tener una apariencia que invita a usarlas en las emergencias, en todas las condiciones de tiempos; en este último se considera que la berma debe ser lo suficientemente pareja, de manera que la desaceleración del vehículo en el pavimento de la berma aun cuando el vehículo vaya a grandes velocidades, no sea peligroso.

En contraste a este requerimiento necesita tener un pavimento que no provoque el deseo de utilizarla como carril de circulación, con lo que se anularía su utilidad como refugio de emergencia.

En las carreteras duales es conveniente construir una berma contigua a lo largo del borde del separador central ya que aumenta la seguridad en su operación. Esta necesidad es evidente cuando hay 3 o más carriles de circulación en cada sentido. Si no existe una berma interior en estas autopistas, una emergencia que afecte a un vehículo se refleja en toda la sección de la calzada, especialmente si el conductor afectado trata de cruzar del carril interior a la berma adyacente al carril de circulación más próximo cuando no existe ninguno en el borde del separador central. Entonces, en las secciones divididas de varios carriles debe haber una berma interior; esta puede ser más angosta que la otra, a menos que la carretera individual tenga 4 o más carriles; si es así; los anchos deben ser iguales. (...).

Se llegó a la conclusión de que cuanto mayor es el tipo de berma tanto más cerca de él circula el tránsito.

Las bermas de grava estimulan al tránsito a circular más cerca del borde exterior del pavimento que los cubiertos de pasto y las bermas pavimentadas producen un efecto todavía mayor.

La Tabla N° 29 muestra los resultados cuando el tránsito circula con libertad, con la luz del día.

Tabla N° 29: Efecto del tipo de berma en la colocación de automóviles

Ancho del carril de circulación	Berma		
	Con riesgo de sello (m)	De grava (m)	De pasto (m)
3.35	1.49*	1.71*	1.89*
3.66	1.74	1.98	2.13
3.96	1.98	2.28	2.35

* Distancia de la línea central de los vehículos de tránsito

Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p. 298)

Para mejorar el drenaje del pavimento y para aumentar la diferencia entre el carril de circulación y la berma, la pendiente transversal en las bermas debe ser varias veces la del pavimento del carril de circulación adyacente; valores típicos son 2% para el carril de circulación, y 6% para la berma adyacente.

La pendiente transversal de la berma debe ser tal que disguste su uso como carril de circulación adicional, pero no tan fuerte que los conductores duden utilizarla en una emergencia. El valor de 6% cumple con esos dos objetivos. Sin embargo, la pendiente transversal de la berma se suele hacer depender de la naturaleza de su superficie, recomendándose como valores más aceptables:

- En bermas pavimentadas: Pendiente de 3 a 5%.
- En bermas de granzón o piedra picada: Pendiente de 4 a 6%.
- En bermas cubiertas de pasto: Pendiente de 8%. (pp. 297-298)

2.4.1.3. Derecho de Vía

El (MTC, 2018) indica acerca del derecho vía que:

Es la faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas

previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario.

La faja del terreno que conforma el Derecho de Vía es un bien de dominio público inalienable e imprescriptible, cuyas definiciones y condiciones de uso se encuentran establecidas en el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (...).

La Tabla N° 30 indica los anchos mínimos que debe tener el Derecho de Vía, en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

Tabla N° 30: Anchos mínimos de derecho de vía

Clasificación	Anchos mínimos (m)
Autopistas Primera Clase	40
Autopistas Segunda Clase	30
Carretera Primera Clase	25
Carretera Segunda Clase	20
Carretera Tercera Clase	16

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p.199)

En general, los anchos de la faja de dominio o Derecho de Vía, fijados por la autoridad competente se incrementarán en 5.00 m, en los siguientes casos:

- Del borde superior de los taludes de corte más alejados.
- Del pie de los terraplenes más altos.
- Del borde más alejado de las obras de drenaje
- Del borde exterior de los caminos de servicio.

Para los tramos de carretera que atraviesan zonas urbanas, la autoridad competente fijará el Derecho de Vía, en función al ancho requerido por la sección transversal del proyecto, debiendo efectuarse el saneamiento físico legal, para cumplir con los anchos mínimos fijados en la Tabla N° 30; excepcionalmente podrá fijarse anchos mínimos inferiores, en función a las construcciones e instalaciones permanentes adyacentes a la carretera. (p. 198)

Se muestra en la Tabla N° 31, la comparación de los anchos mínimos de derecho de vía de los manuales emitidos por el MTC.

Tabla N° 31: Cuadro comparativo de anchos mínimos de derecho de vía

ANCHOS MÍNIMOS DE DERECHO DE VÍA		
Manuales de Carreteras	DG-2018	16 m
	DG-2014	16 m
	DG-2013	16 m
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	15 m
	BVT-2005	15 m
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	15 m

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°31, se observa la evaluación de los anchos mínimos de derecho de vía para una trocha con los diferentes manuales del MTC, para el caso específico de velocidad de diseño de 30 km/h y una orografía tipo 4 (terreno escarpado), en los años 1978, 2005 y 2008 se tiene un valor de 15 m y en los años 2013, 2014 y 2018 de 16 m pero ajustando los valores al de una carretera de tercera clase, ya que para trochas este parámetro no se encuentra establecido ni restringido, quedando así al criterio del ingeniero proyectista.

Cárdenas (2015) señala que:

El ancho de zona o derecho de vía es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. En la Tabla N° 32 aparecen los anchos mínimos recomendados de derechos de vía. A esta zona no se le podrá dar uso privado. (p. 413)

Tabla N° 32: Anchos mínimos recomendados de derecho de vía

Tipo de carretera	Ancho mínimo
Primaria de dos calzadas	> 30
Primaria de una calzada	24 - 30
Secundaria	20 - 24
Terciaria	15 - 20

Fuente: "Diseño Geométrico de Carreteras", por Cárdenas (2015, p. 413)

El Derecho de vía o Faja de dominio es el área de terreno ocupada por la carretera y sus obras complementarias, tales como cunetas, obras de tierra y consolidación. En ella no está permitido construir ni desviar con la importancia de carretera y es muy variable de país en país. Depende igualmente de la magnitud de las obras que se emprenda y de las posibilidades

de ensancharla. En Inglaterra se especifica de 26 a 38 m de derecho de vía en las carreteras principales y en USA se llega hasta 305 m. (...)

Según las Normas Peruanas, el ancho del Derecho de Vía es el siguiente:

- Para carreteras de 1ª y 2ª clase: 20 m (10 m a cada lado del eje).
- Para carreteras de 3ª clase: 16 m (8 m a cada lado del eje).
- Para carreteras de 4ª clase: 12 m (6 m a cada lado del eje).

Hay, sin embargo, la tendencia a aumentar este ancho: En la carretera Lima - Ancón, es de 50 m y en el resto de la Carretera Panamericana es de 40 m.

Las normas especifican, además que en la selva y en los terrenos de propiedad del Estado, el derecho de vía será de 50 m para toda clase de carreteras.

Como se indica en la Figura N° 6, cuando la amplitud de los cortes y rellenos exceda a los anchos señalados, el derecho de vía será ampliado en una faja que comprende hasta 3 m más allá del borde de los cortes o del pie de los terraplenes. Para las obras de drenaje y otras de seguridad se establecerán servidumbres para el efecto de los terrenos colindantes, las que cubrirán el área de las obras, más una faja perimétrica de 3 m de ancho.

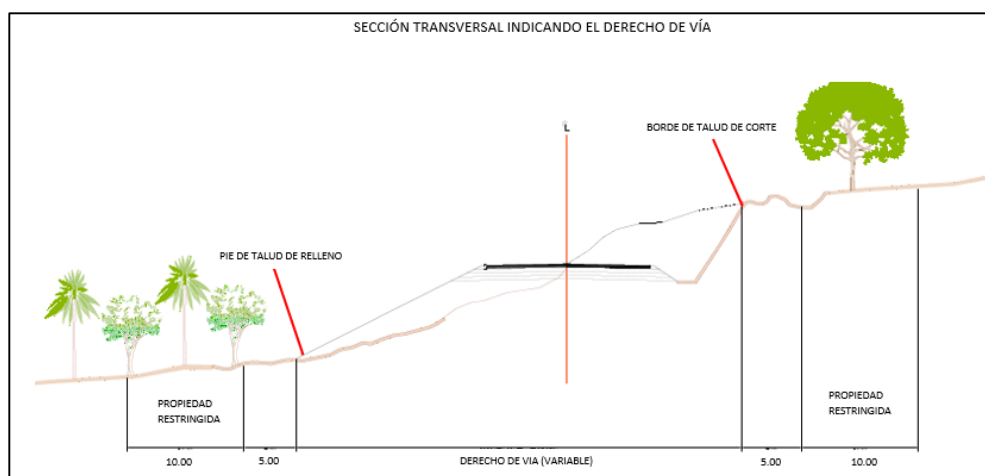


Figura N° 6: Sección transversal indicando el derecho de vía
Fuente: "Carreteras Diseño Moderno", por Céspedes (2001, p.286)

A cada lado del derecho de vía habrá una faja de propiedad restringida de un ancho de 10 m, Figura N°7.

La restricción se refiere a la prohibición de ejecutar construcciones permanentes que afecten la visibilidad o dificulten futuros ensanches. En las zonas de frecuente tránsito de ganado donde no es posible desviarlos por caminos de herradura, deberán ampliar el derecho de vía, en un ancho

suficiente para alojar este tránsito mediante caminos cercados. (Céspedes, 2001, p. 286)

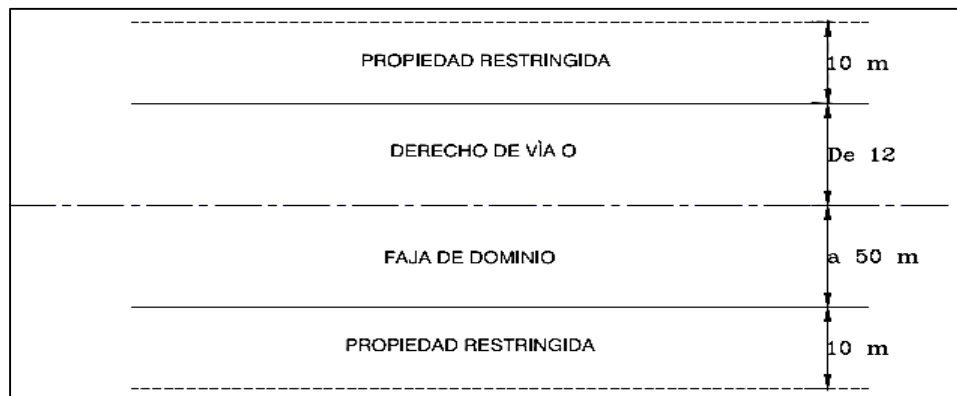


Figura N° 7: Derecho de vía
Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p.287)

2.4.2. Alineamiento horizontal

Para el (MTC, 2018) con respecto al alineamiento horizontal nos dice que:

El diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado de curvatura variable, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente.

El alineamiento horizontal deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad de diseño en la mayor longitud de carretera que sea posible.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad de diseño y a su vez, controla la distancia de visibilidad.

En proyectos de carreteras de calzadas separadas, se considerará la posibilidad de trazar las calzadas a distinto nivel o con ejes diferentes, adecuándose a las características del terreno.

La definición del trazo en planta se referirá a un eje, que define un punto en cada sección transversal. En general, salvo en casos suficientemente justificados, se adoptará para la definición del eje:

En autopistas:

- El centro del separador central, si éste fuera de ancho constante o con variación de ancho aproximadamente simétrico.
- El borde interior de la vía a proyectar en el caso de duplicaciones.
- El borde interior de cada vía en cualquier otro caso.

En carreteras de vía única:

- El centro de la superficie de rodadura.

Consideraciones de diseño

Algunos aspectos a considerar en el diseño en planta:

- Deben evitarse tramos con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto. Es preferible reemplazar grandes alineamientos, por curvas de grandes radios.
- Para las autopistas de primer y segundo nivel, el trazo deberá ser más bien una combinación de curvas de radios amplios y tangentes no extensas.
- En el caso de ángulos de deflexión Δ pequeños, iguales o inferiores a 5° , los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínima L obtenida con la fórmula siguiente:

$$L > 30 (10 - \Delta), \Delta < 5^\circ \quad (1)$$

(L en metros; Δ en grados)

No se usará nunca ángulos de deflexión menores de $59'$ (minutos).

La longitud mínima de curva (L) será:

Tabla N° 33: Longitud de curva mínima (L)

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

Fuente: "Manual DG-2018", por MTC (2018, p.125)

- No se requiere curva horizontal para pequeños ángulos de deflexión, en el siguiente cuadro se muestran los ángulos de inflexión máximos para los cuales no es requerida la curva horizontal.

Tabla N° 34: Ángulo de inflexión máximo aceptable sin curva circular

Velocidad de diseño Km/h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30´
40	2° 15´
50	1° 50´
60	1° 30´
70	1° 20´
80	1° 10´

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p.126)

Para ángulos de deflexión pequeño, las curvas deberán ser lo suficientemente largas para evitar una mala apariencia. Las curvas deberán tener una longitud mínima de 150m para un ángulo central de 5° y la longitud mínima deberá aumentarse 30m por cada grado de disminución del ángulo central. La longitud mínima para curvas horizontales en carreteras principales $L_c \text{ min}$, deberá ser del orden de tres veces mayor que la velocidad de diseño expresado en km/h, es decir $L_c \text{ min} = 3V$.

En infraestructuras para alta velocidad y acceso controlado que cuentan con curvatura abierta, y debido a razones estéticos, la longitud mínima recomendada para curvas deberá ser del orden del doble de la longitud mínima descrita anteriormente, es decir $L_c \text{ rec} = 6V$. Es preferible no diseñar longitudes de curvas horizontales mayores a 800 metros.

- Al final de las tangentes extensas o tramos con leves curvaturas, o incluso dónde siga inmediatamente un tramo homogéneo con velocidad de diseño inferior, las curvas horizontales que se introduzcan deberán concordar con la precedente, proporcionando una sucesión de curvas con radios gradualmente decrecientes para orientar al conductor. En estos casos, siempre deberá considerarse el establecimiento de señales adecuadas.
- No son deseables dos curvas sucesivas en el mismo sentido cuando entre ellas existe un tramo en tangente. Será preferible sustituir por una curva extensa única o, por lo menos, la tangente intermedia por un arco circular, constituyéndose entonces en curva compuesta. Si no es posible adoptar estas medidas, la tangente intermedia deberá ser superior a 500 m. En el caso de carreteras de tercera clase la tangente podrá ser inferior o bien sustituida por una espiral o una transición en espiral dotada de peralte.

- Las curvas sucesivas en sentidos opuestos, dotadas de curvas de transición, deberán tener sus extremos coincidentes o separados por cortas extensiones en tangente. En el caso de curvas opuestas sin espiral, la extensión mínima de la tangente intermedia deberá permitir la transición del peralte.
- En consecuencia, deberá buscarse un trazo en planta homogéneo, en el cual tangentes y curvas se sucedan armónicamente.
- No se utilizarán desarrollos en Autopistas y se tratará de evitar estos en carreteras de Primera clase. Las ramas de los desarrollos tendrán la máxima longitud posible y la máxima pendiente admisible, evitando en lo posible, la superposición de ellas sobre la misma ladera. (pp. 125-126)

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas. (Cárdenas, 2015, p. 65)

Kraemer et al. (2003) mencionan sobre el alineamiento horizontal lo siguiente:

Dentro de las simplificaciones habituales para estudiar el trazado de una carretera, la primera fase la constituye su trazado en planta. Consiste éste en analizar la proyección del eje que define la carretera sobre una superficie paralela a la superficie terrestre que, si su extensión no es muy grande, se puede considerar como un plano horizontal. El análisis se realiza entonces, más fácilmente, en un espacio cartesiano de dos dimensiones; (...).

Sobre este plano horizontal se define el trazado en planta como un eje continuo formado por una sucesión de alineaciones. Se suele admitir que representan a la trayectoria de los vehículos en planta, que es paralela a ellas a una distancia relativamente pequeña; únicamente en las curvas de pequeño radio, es más conveniente definir directamente la trayectoria del vehículo.

La percepción de los ocupantes de un vehículo que tienen del trazado en planta no se deriva de las coordenadas de sus puntos, sino de otras variables relacionadas con ellas y más directamente perceptibles:

- El rumbo o acimut, que es la dirección a la que apunta el morro del vehículo y hacia donde avanza. En lugar de los clásicos rumbos empleados en la navegación marítima (por ejemplo, Nor-noroeste), se emplea para medir el acimut el ángulo (creciente en el sentido de las agujas del reloj) que forma con el Norte (es decir, con el eje de las ordenadas) la tangente en la alineación en el punto considerado. En América y en los países de cultura anglosajona, el ángulo se mide en grados sexagesimales; pero en la Europa continental se utilizan los gonios (símbolo: gon) o grados centesimales. Así, el acimut puede variar desde 0 (hacia el Norte), pasando por 200 (hacia el Sur), hasta 400 gon (otra vez hacia el norte).

La curvatura, que es inverso del radio ρ del círculo osculador a la trayectoria en el punto considerado. Su acción es percibida a través de la fuerza centrífuga que produce, en combinación con la velocidad del vehículo. En América es frecuente utilizar, para las alineaciones circulares, el concepto de grado de curvatura, que se define como el ángulo (en grados sexagesimales) subtendido en el centro por un arco de 100 pies (1 station=30.48 m). (...)

En la técnica viaria se emplean 3 tipos de alineaciones:

1. Alineaciones rectas, en las que el acimut es constante y la curvatura es nula ($\rho = \infty$).
2. Curvas circulares, en las que el acimut varía linealmente con el camino recorrido, y la curvatura es constante ($\rho = R$).
3. Curvas de transición, en las que tanto el acimut como la curvatura varían con el camino recorrido. (pp. 189-190)

Céspedes (2001) señala que el alineamiento horizontal de una carretera:

Está formado por líneas rectas enlazados con arcos de círculo; en las rectas el movimiento del vehículo se desarrolla con uniformidad y seguridad, pero llega un momento en que encuentra un obstáculo, o el terreno cambia de dirección o hay que enfilar hacia determinado punto, se hace necesario,

entonces, intercalar una curva entre los alineamientos rectos, el ingeniero debe procurar que las curvas produzcan las menores molestias e inconvenientes al tránsito.

Durante mucho tiempo, el trazado rectilíneo fue considerado como el mejor por ser el más corto; sin embargo, actualmente un trazado curvilíneo o semicurvilíneo es preferido por múltiples razones.

En el trazado moderno hay tendencia a reemplazar las grandes rectas por una sucesión de alineamientos rectos cortos y curvas de gran radio. Por consiguiente, se exige que la trayectoria que sigan los vehículos sea en forma de curvatura continua, aunque algunos proyectistas aceptan este criterio con cierta reserva ya que, en una carretera de dos carriles, un alineamiento de curvatura continua, sin tangentes, tampoco es la más deseable debido a que muchos conductores dudan adelantar a otro vehículo en los tramos curvos, Figura N° 8. Al utilizarse el alineamiento de rectas unidas por curvas, aparecen dos tipos de curvas en el trazado horizontal: las curvas de enlace y las curvas de transición.

En cuanto al perfil longitudinal, por las mismas razones anteriores debe mantenerse la curvatura continua; la circulación rápida impone que esta condición se cumpla, especialmente en las pendientes.

Sin que sean necesarias consideraciones técnicas, se comprende que las variaciones bruscas de pendientes no son confortables y además son peligrosas a los vehículos que viajan a gran velocidad. Surge así la necesidad de implantar las curvas verticales constituidas por arcos de parábolas. (...)

El alineamiento horizontal de una carretera moderna debe concebirse de manera que incorpore todos los aspectos que contribuyan a un manejo más seguro. Como en el proyecto convencional de Tangente - Curva; su alineamiento constituirá en una serie de tramos rectos (Tangentes) conectados por curvas circulares.

Las curvas espirales de transición son refinamientos adicionales que deben utilizarse, en algunos casos, con el objeto de que el alineamiento curvilíneo sea compatible con las necesidades de operación de los vehículos. Estas transiciones entre los tramos en tangente y las curvas circulares proporcionan medios para desviar suavemente el vehículo a la curva y suministrar una base racional para dar la sobre elevación al entrar y salir de la curva circular. En el

proyecto Curvilíneo Continuo, el eje consiste en una sucesión de espirales de curvatura alternativamente creciente y decreciente con o sin tramos de curvatura constante.

Las alteraciones que las curvas producen en la marcha de los vehículos son:

- Aparición de la fuerza centrífuga, que puede ser causa de accidentes y obliga a los conductores a reducir la velocidad a la entrada y salida de las curvas que no estén bien proyectadas.
- Falta de visibilidad que hace posible el choque con un vehículo que marcha en dirección contraria.
- Aumento del espacio necesario por vía de circulación, por ser mayor el que ocupa un vehículo en curva que en recta.

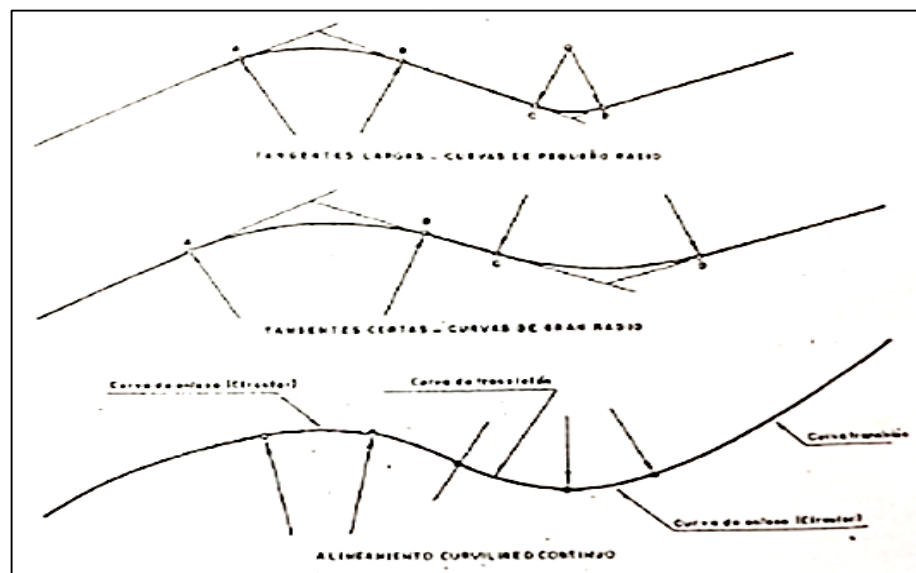


Figura N° 8: Alineamiento horizontal de una carretera
Fuente: “Carreteras Diseño Moderno”, por Céspedes (2001, p.194)

Estos inconvenientes que no tenían importancia en las antiguas carreteras, son fundamentales en la actualidad, en que el tránsito es intensísimo y que los vehículos alcanzan fácilmente los 110 km/h ya que, si no se les considera, las curvas disminuirían las condiciones de seguridad de la carretera y la economía del transporte. En este sentido, las relaciones entre la velocidad y curvatura son fundamentales para el diseño geométrico. (pp. 193-195)

2.4.2.1. Tramos en tangente

El (MTC, 2018) se refiere a lo tramos en tangentes y dice que:

Las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos en tangente, en función a la velocidad de diseño, serán las indicadas en la Tabla N°35.

Tabla N° 35: Longitudes de tramos en tangente

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

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p.127)

Dónde:

Lmín. S: Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamientos rectos entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

Lmín. O: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

Lmáx: Longitud máxima deseable (m).

V: Velocidad de diseño (km/h)

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la Tabla N°35, están calculadas con las siguientes fórmulas. (MTC, 2018, p. 127)

$$L_{\text{mín.S}} : 1.39 V \quad (2)$$

$$L_{\text{mín.O}} : 2.78 V \quad (3)$$

$$L_{\text{máx}} : 16.70 V \quad (4)$$

A continuación, se muestra la comparación del cálculo de tramos en tangente de los manuales emitidos por el MTC, así se tiene la Tabla N°36:

Tabla N° 36: Cuadro comparativo del cálculo de tramos en tangente

TRAMOS EN TANGENTE		
LONGITUDES EN TRAMOS TANGENTE		$L_{min.s}$: 1.39 V $L_{min.o}$: 2.78 V $L_{máx}$: 16.70 V
Manuales de Carreteras	DG-2018	✓
	DG-2014	✓
	DG-2013	✓
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	No lo especifica
	BVT-2005	No lo especifica
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	No lo especifica

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°36, se puede observar que para los años de 1978, 2005 y 2008 los manuales de diseño no mostraban el cálculo de este parámetro, en el año 2001 el manual estableció una tabla con valores de tramos en tangente en función a la velocidad de diseño, mientras que en los años 2013, 2014 y 2018 se muestra el cálculo de la longitud de tramos en tangente en función a la velocidad de diseño para trazados en “S”, para el resto de casos “O” y la longitud máxima deseable.

Kraemer et al. (2003) señalan lo siguiente:

Función y necesidad:

Al salir de una curva que es recorrida a una velocidad limitada, los conductores que circulan aislados pueden acelerar en la alineación recta siguiente hasta alcanzar una velocidad que estimen deseable, si las prestaciones de su vehículo lo permiten, o hasta que la proximidad de la siguiente curva les haga desacelerar.

Las alineaciones rectas resultan especialmente indicadas:

- En los terrenos llanos.
- Donde sea preciso adaptarse a algún condicionante externo que sea recto: una infraestructura, un corredor urbanístico, un valle de configuración recta, etc.

- En las proximidades de los nudos o de las conexiones con otras vías.
- Donde resulte necesario detenerse, como en las estaciones de peaje.
- En las carreteras de calzada única con dos carriles en las que, para adelantar a otros vehículos más lentos, es preciso ocupar temporalmente el carril normalmente reservado a la circulación en sentido contrario. Si se desea asegurar unas probabilidades razonables de adelantamiento, conviene que la longitud de la alineación recta no sea inferior a unos 500 – 800 m.

Longitudes máximas y mínimas:

La velocidad que pueden alcanzar los vehículos en las alineaciones rectas de gran longitud sólo está limitada por la inclinación de la rasante; pero se ha observado que puede haber accidentes debido a la monotonía de la conducción en estas condiciones. Por ello, en los trazados nuevos resulta aconsejable evitar las alineaciones rectas excesivamente largas, a las que corresponde un tiempo de recorrido superior a unos 60 – 75 s; e introducir en su lugar unas curvas de radio muy amplio (de 5,000 a 10,000 m) que, al obligar al conductor a modificar suavemente su dirección, mantienen despierta su atención. Además, se evita así el deslumbramiento debido a los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario, que llega a ser muy molesto en una recta larga.

Por el contrario, si la recta entre dos curvas es muy corta los conductores las trazarán de forma conjunta. En este caso, la perspectiva por ellos percibida les puede resultar compleja, y además las irregularidades en la variación de la curvatura con el recorrido pueden hacerles incómoda y aún peligrosa la conducción:

- Si las curvas son de sentidos opuestos y la recta se recorre en menos de unos 5 s, conviene reducir a un punto la alineación recta intermedia, alargando para ello al menos una de las curvas de transición.
- Si las curvas son del mismo sentido y la recta se recorre en menos de unos 10 s, es mejor situarlas por una sola curva, si ello es posible. (pp. 190-191)

2.4.2.2. Curvas Horizontales

Cárdenas (2015) afirma 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. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares.

Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple

En la Figura N° 9 aparecen los diferentes elementos geométricos de una curva circular simple. Tomando el sentido de avance de izquierda a derecha, dichos elementos son:

PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O = Centro de la curva circular.

Δ = Ángulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal.

Es igual al ángulo central subtendido por el arco PC-PT.

R = Radio de la curva circular simple.

T = Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

CL = Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.

E = Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M = Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B. (p. 66)

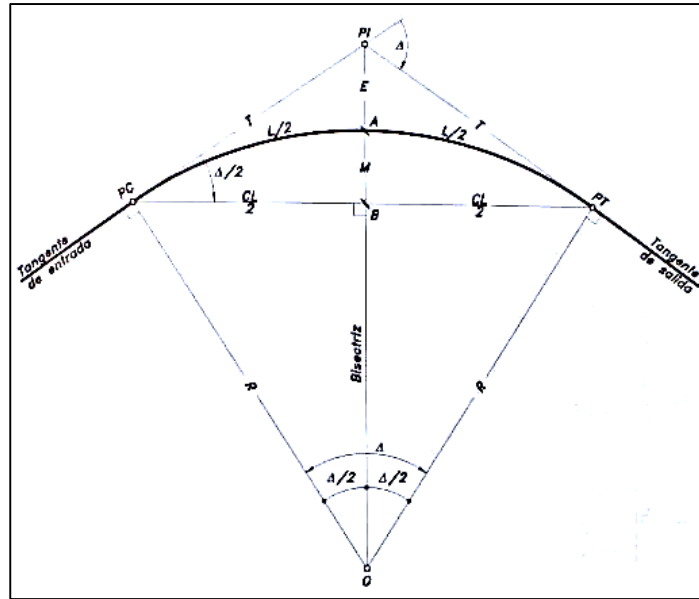


Figura N° 9: Elementos geométricos de una curva circular simple
Fuente: "Diseño Geométrico de Carreteras", por Cárdenas (2015, p.67)

- Radio mínimo de curva circular simple

Para el órgano rector a nivel nacional en gestión de infraestructura vial el (MTC, 2018) menciona que los radios mínimos son:

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127(P_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})} \quad (5)$$

Dónde:

Rmín: Radio Mínimo

V: Velocidad de diseño

Pmáx: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

f_{máx}: Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V. (p. 128)

A continuación, se presenta la Tabla N° 37, que muestra la comparación de radios mínimos de los alineamientos horizontales de los manuales elaborados por el MTC:

Tabla N° 37: Cuadro comparativo de radios mínimos del MTC

RADIOS MÍNIMOS		
Manuales de Carreteras	DG-2018	$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (P_{\max} + f_{\max.})}$
	DG-2014	
	DG-2013	
	DG-2001	Proporciona una tabla de valores
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (0.01 e_{\max} + f_{\max})}$
	BVT-2005	
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	$R = \frac{v d^2}{128 (p + f)}$

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°37 en los años 1978, 2005 y 2008 que son manuales para carreteras de bajo volumen de tránsito, la fórmula para el cálculo de radio mínimo tuvo una mínima variación, ya que en la Norma para el diseño de caminos vecinales de 1978 (MCV) el factor del denominador es 128 diferente al que se considera en los años 2005 y 2008 que es 127. Para el año 2001, este manual proporciona una tabla con los valores de radios mínimos y peraltes para velocidades que varían de 30 kph a 150 kph de acuerdo a la ubicación de la vía los cuales son: Área urbana (alta velocidad), Área rural (con peligro de hielo), Área rural (tipo 1,2 ó 3) y Área rural (tipo 3 ó 4). En el año 2013, 2014 y 2018 se puede observar que la fórmula para radio mínimo no sufrió ninguna variación.

En la elección del radio de la curva circular Céspedes (2001) menciona que:

Debido a que las carreteras atraviesan topografías de terreno muy variada, no hay una regla fija para elegir los radios de las curvas; pero se recomiendan que sean lo más grandes posibles y de número entero para facilitar el cálculo. Como una carretera debe ceñirse a la configuración del terreno, puede que sea necesario una externa corta para evitar cortes o disminuir rellenos, que se tenga que reducir las tangentes por la proximidad de otra curva o una quebrada muy cerrada; donde deben reducirse los radios, es que se debe recurrir al radio mínimo fijado para la carretera. (p. 220)

2.4.3. Alineamiento vertical

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o sub-rasante.

El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical deben ser consistentes y balanceados, en forma tal que los parámetros del primero correspondan y sean congruentes con los del segundo. Por lo tanto, es necesario que los elementos del diseño vertical tengan la misma velocidad específica del sector en planta que coincide con el elemento vertical que se estudió.

Lo ideal es la obtención de rasantes largas con un ajuste óptimo de curvas verticales y curvas horizontales a las condiciones del tránsito y a las características del terreno, generando un proyecto lo más económico posible tanto en su construcción como para su operación. (...)

Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales. (Cárdenas, 2015, pp. 313-314)

Con un buen trazado en planta, podemos obtener espléndidos alineamientos con curvas muy amplias, pero si ese trazado en planta no está bien coordinado y estudiado con el trazado en perfil, resultará que la carretera que se construya no servirá por antieconómica o incómoda. Los vehículos no podrán circular por ella por su excesiva pendiente o será muy incómoda por los cambios bruscos y continuos de gradiente. (...)

En el Perú, el problema del trazado en perfil es mucho más delicado que en el trazado en planta, ya que, en este, cualquier modificación posterior o mejora de la carretera que quiera hacerse bastará retrazar y ensanchar, pero si las pendientes están mal proyectadas, no queda más remedio que hacer estudios de variantes para obtener alargamientos y poder así bajar las pendientes (Céspedes, 2001, p. 245).

2.4.3.1. Curvas Verticales

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical.

Curvas verticales simétricas: La parábola utilizada para el enlace de dos tangentes verticales consecutivas debe poseer las siguientes propiedades:

1. La razón de variación de su pendiente a lo largo de su longitud es una constante.
 2. La proyección horizontal del punto de intersección de las tangentes verticales está en la mitad de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia extremos, donde empieza y termine la curva.
 3. Los elementos verticales de la curva (alturas o cotas) varían proporcionalmente con el cuadrado de los elementos horizontales (abscisas).
 4. La pendiente de cualquier cuerda de la parábola, es el promedio de las pendientes de las líneas tangentes a ella en sus respectivos extremos.
- (Cárdenas, 2015, pp. 318-319)

2.4.3.2. Pendientes Máximas

Es conveniente considerar las pendientes máximas que están indicadas en la Tabla (Ver Tabla N° 2), no obstante, se pueden presentar los siguientes casos particulares:

- En zonas de altitud superior a los 3.000 m.s.n.m., los valores máximos de la Tabla N° 2, se reducirán en 1% para terrenos accidentados o escarpados.
- En autopistas, las pendientes de bajada podrán superar hasta en un 2% los máximos establecidos en la Tabla N° 2.

Pendientes máximas excepcionales

Excepcionalmente, el valor de la pendiente máxima podrá incrementarse hasta en 1%, para todos los casos. Deberá justificarse técnica y económicamente la necesidad de dicho incremento.

Para carreteras de Tercera Clase deberán tenerse en cuenta además las siguientes consideraciones:

- En el caso de ascenso continuo y cuando la pendiente sea mayor del 5%, se proyectará, más o menos cada tres kilómetros, un tramo de descanso de una longitud no menor de 500 m con pendiente no mayor de 2%. La frecuencia y la ubicación de dichos tramos de descanso, contará con la correspondiente evaluación técnica y económica.
- En general, cuando se empleen pendientes mayores a 10%, los tramos con tales pendientes no excederán de 180 m.
- La máxima pendiente promedio en tramos de longitud mayor a 2,000 m, no debe superar el 6%.
- En curvas con radios menores a 50 m de longitud debe evitarse pendientes mayores a 8%, para evitar que las pendientes del lado interior de la curva se incrementen significativamente. (MTC, 2018, pp. 170-172)

La rasante de la carretera está formada por tramos de distinta inclinación. Como no sería práctico modificar el peso de los vehículos al pasar de un tramo a otro más inclinado se le regula en relación con la mayor rampa de la vía. La pendiente máxima que fija el peso de los vehículos se llama Pendiente determinante o gobernante. Pendientes mayores que la admitida como determinante obligarían a reducir el peso de los vehículos en toda la carretera, de ahí que la determinante no ha de ser excedida al trazar o construir una carretera. (...)

Las pendientes de las carreteras son impuestas, muchas veces por la configuración del terreno, dependen de la diferencia de altura que hay que vencer y de la distancia que hay entre los puntos que se trata de unir. (Céspedes, 2001, p. 247)

2.4.4. Tráfico

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Los datos obtenidos se utilizan como base para el planeamiento y explotación de las redes viarias, la aplicación de regulaciones del tráfico y la investigación de los efectos de los diferentes elementos de la carretera en la circulación de vehículos. Existen técnicas para la realización de estos estudios que, basándose en experiencias anteriores, permiten la obtención de datos suficientemente seguros con un coste mínimo. Estas técnicas y métodos de estudio dependen de la clase de datos que se desee obtener y de la extensión y precisión con que haya de realizarse el estudio.

Las principales características del tráfico que suelen estudiarse son: las intensidades de circulación, las velocidades y los tiempos de recorrido de los vehículos, el origen, destino y objeto de los viajes, los accidentes, etc.

Entre los que se emplean con mayor generalidad destacan los correspondientes a las intensidades de circulación. (Kraemer et al., 2003, p. 81)

2.4.4.1. Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

Los valores de IMDA para tramos específicos de carretera, proporcionan al proyectista, la información necesaria para determinar las características de diseño de la carretera, su clasificación y desarrollar los programas de mejoras y mantenimiento. Los valores vehículo/día son importantes para evaluar los programas de seguridad y medir el servicio proporcionado por el transporte en carretera.

La carretera se diseña para un volumen de tránsito, que se determina como demanda diaria promedio a servir hasta el final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio, que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual. Estos

volúmenes pueden ser obtenidos en forma manual o con sistemas tecnológicos.

La IMDA (Intensidad Media Diaria Anual), también conocida por sus siglas en inglés AADT (Average Annual Daily Traffic), se utiliza fundamentalmente para el planeamiento: proyección de vías, programas de acondicionamiento de pavimento, determinación de tendencias en el uso de las vías, determinación de características geométricas de carácter general, proyectos de señalización e iluminación, estudios medioambientales, estudios de impacto acústico, entre otros. (MTC, 2018, p. 92)

2.4.4.2. Vehículo de Diseño

Según el “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial” define como vehículo todo medio que tiene la capacidad de transportar personas, materiales o mercancías. (MTC, 2018, p.20)

El Diseño Geométrico de Carreteras se efectuará en concordancia con los tipos de vehículos, dimensiones, pesos y demás características, contenidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, vigente.

Las características físicas y la proporción de vehículos de distintos tamaños que circulan por las carreteras, son elementos clave en su definición geométrica. Por ello, se hace necesario examinar todos los tipos de vehículos, establecer grupos y seleccionar el tamaño representativo dentro de cada grupo para su uso en el proyecto. Estos vehículos seleccionados, con peso representativo, dimensiones y características de operación, utilizados para establecer los criterios de los proyectos de las carreteras, son conocidos como vehículos de diseño.

Al seleccionar el vehículo de diseño hay que tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía. Normalmente, hay una participación suficiente de vehículos pesados para condicionar las características del proyecto de carretera. Por consiguiente, el vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses).

Las características de los vehículos tipo indicados, definen los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera. Así, por ejemplo:

- El ancho del vehículo adoptado incide en los anchos del carril, calzada, bermas y sobreebanco de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo.
- La distancia entre los ejes influye en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles.
- La relación de peso bruto total/potencia, guarda relación con el valor de las pendientes admisibles.

Conforme al Reglamento Nacional de Vehículos, se consideran como vehículos ligeros aquellos correspondientes a las categorías L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas) y M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Serán considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1), N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

La clasificación del tipo de vehículo según encuesta de origen y destino, empleada por SNIP para el costo de operación vehicular (VOC), es la siguiente:

- Vehículo de pasajeros
 - Jeep (VL)
 - Auto (VL)
 - Bus (B2, B3, B4 y BA)
 - Camión C2
- Vehículo de carga
 - Pick-up (equivalente a Remolque Simple T2S1)
 - Camión C2 o Camión C3 y C2CR
 - T3S2

Vehículos ligeros:

La longitud y el ancho de los vehículos ligeros no condicionan el proyecto, salvo que se trate de una vía por la que no circulan camiones, situación poco probable en el proyecto de carreteras. A modo de referencia, se citan las dimensiones

representativas de vehículos de origen norteamericano, en general mayores que las del resto de los fabricantes de automóviles:

- Ancho: 2.10 m.
- Largo: 5.80 m.

Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad.

- h: altura de los faros delanteros: 0.60 m.
- h1: altura de los ojos del conductor: 1.07 m.
- h2: altura de un obstáculo fijo en la carretera: 0.15 m.
- h4: altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0.45 m.
- h5: altura del techo de un automóvil: 1.30 m

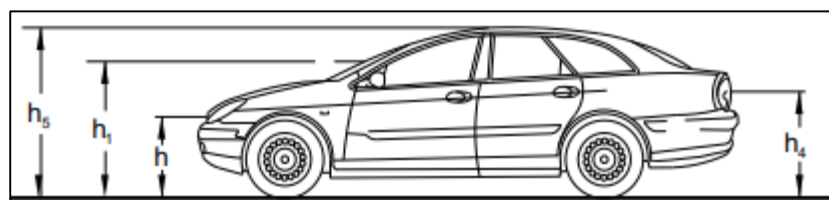


Figura N° 10: Sección transversal típica de vía con una calzada de dos carriles
Fuente: Manual MTC-2018

El vehículo ligero es el que más velocidad desarrolla y la altura del ojo de piloto es más baja, por tanto, estas características definirán las distancias de visibilidad de sobrepaso, parada, zona de seguridad en relación con la visibilidad en los cruces, altura mínima de barreras de seguridad y antideslumbrantes, dimensiones mínimas de plazas de aparcamiento en zonas de estacionamiento, miradores o áreas de descanso.

Vehículos pesados:

Las dimensiones máximas de los vehículos a emplear en la definición geométrica son las establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos vigente. Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad.

- h : altura de los faros delanteros: 0.60 m.
- h_3 : altura de ojos de un conductor de camión o bus, necesaria para la verificación de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras: 2.50 m.
- h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0.45 m.
- h_6 : altura del techo del vehículo pesado: 4.10 m (MTC, 2018, pp. 24-25)

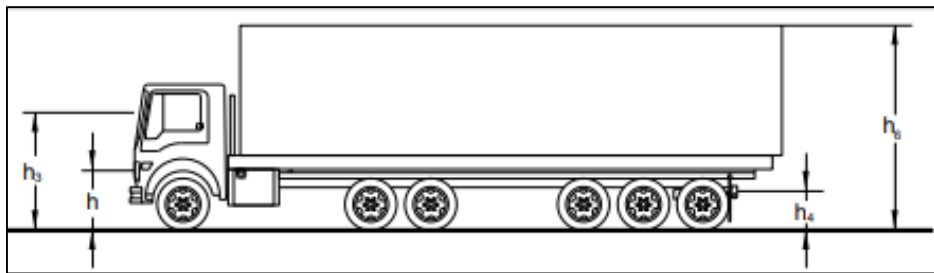


Figura N° 11: Sección transversal típica de vía con una calzada de dos carriles
Fuente: Manual MTC-2018

2.4.5. Seguridad vial

Conjunto de acciones orientadas a incrementar la seguridad intrínseca y la calidad de protección de las redes viales, en beneficio de los usuarios de las vías. (MTC, 2018, p.20)

- Velocidad de diseño

El (MTC, 2018) se refiere acerca de la velocidad de diseño:

Es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

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

El proyectista, para garantizar la consistencia de la velocidad, debe identificar a lo largo de la ruta, tramos homogéneos a los que, por las condiciones

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

1) La longitud mínima de un tramo de carretera, con una velocidad de diseño dada, debe ser de tres (3.0) kilómetros, para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4.0) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 y 120 km/h).

2) La diferencia de la Velocidad de Diseño entre tramos adyacentes, no debe ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

No obstante, lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector de la ruta, es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su Velocidad de Diseño con la de los tramos adyacentes no deberá ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).

Velocidad de diseño del tramo homogéneo:

La Velocidad de Diseño está definida en función de la clasificación por demanda u orografía de la carretera a diseñarse. A cada tramo homogéneo se le puede asignar la Velocidad de Diseño en el rango que se indica en la Tabla N° 1 (mostrada en el Cap. 1). (p. 96)

Para Kraemer et. al, (2003), mencionan sobre la velocidad lo siguiente:

Entre las variables que intervienen en la circulación, la velocidad es una de las más importantes, pues influye al mismo tiempo en la calidad del servicio, a través del tiempo que se tarda en un desplazamiento, y en la seguridad en la circulación.

Los ingenieros que diseñan las carreteras deben tener muy presente el concepto de velocidad: donde otros factores no lo impidan, como una densidad del propio tráfico elevada y constante, o unas características del entorno (en especial, el relieve del terreno) que hagan que el diseño resulte muy costoso o inaceptable desde otros puntos de vista (por ejemplo, el

ambiental), parece razonable en principio que el trazado permita circular con comodidad a las velocidades deseadas por la mayoría de los conductores, y circular con seguridad a las velocidades deseadas por la práctica totalidad de los conductores. Estas velocidades deseadas suelen ser bastante elevadas, y cualquier limitación que el trazado les imponga debe resultar a los conductores claramente aparente y justificada. (p. 162).

- Distancia de Visibilidad

Céspedes (2001) sostiene lo siguiente:

En las carreteras, es fundamental que exista, tanto en planta como en perfil, la visibilidad precisa para que el conductor del vehículo pueda ver delante de él a la distancia mínima necesaria para tomar con garantía las decisiones oportunas.

La visibilidad depende de la velocidad directriz. Al establecer los radios y longitudes mínimas de las curvas de enlace (horizontales y verticales) de los alineamientos rectos de una carretera, es requisito esencial obtener una visibilidad satisfactoria, ya que la longitud del tramo de carretera que sea visible al conductor es de la mayor importancia en la seguridad y facilidad de operación. (...)

Distancia de visibilidad es la longitud continua del camino visible hacia adelante por el conductor que transita por él. (p. 205)

2.4.5.1. Distancia de Visibilidad de Parada

Kraemer et al. (2003) manifiestan lo siguiente:

El modelo matemático universalmente aceptado para representar la distancia DD (Distancia de Detención) necesaria para una detención deliberada a partir de una velocidad inicial V_0 consta de dos fases que se suman:

1. Desde que un conductor divisa un objeto hasta que decide detenerse y aplica los frenos transcurre un cierto tiempo de reacción t_r , durante el cual no se modifica la velocidad inicial del vehículo.
2. A partir de la aplicación de los frenos, que se traduce en la movilización de un rozamiento longitudinal f_l entre los neumáticos y el pavimento, la velocidad del vehículo disminuye hasta anularse. (...)

Además, en la detención del vehículo interviene la inclinación i de la rasante, que puede ser constante (en una rasante uniforme) o variable (en un acuerdo vertical). (...)

En una rasante con inclinación constante (o si se considera una inclinación media también constante) y expresando V_0 en km/h, i en %, t_r en segundos y DD (Distancia de Detención) en metros, con un rozamiento movlizado también constante se obtiene la siguiente expresión (pp 169-170):

$$DD = \frac{V_0}{3.6} * t_r + \frac{V_0^2}{254 \left(f_1(V_0) + \frac{i}{100} \right)} \quad (6)$$

A continuación, se presenta la Tabla N° 38, que muestra la comparación de las distancias de parada de los manuales emitidos por el MTC:

Tabla N° 38: Cuadro comparativo de distancia de visibilidad de parada

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		
FÓRMULA		$Dp = \frac{V t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)}$
Manuales de Carreteras	DG-2018	✓
	DG-2014	✓
	DG-2013	✓
	DG-2001	✓
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	Establece tabla de valores
	BVT-2005	Establece tabla de valores
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	No presenta tabla de valores ni fórmula

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°38, en el año 1978 no se proporcionaba ni fórmula ni tampoco una tabla de valores de distancia de visibilidad de parada, para el año de 2005 y 2008 se presentó una misma tabla de valores en función a la velocidad de diseño (velocidad de 20 km/h a 60 km/h) y la pendiente de (bajada y subida) y finalmente en los años de 2001, 2013, 2014 y 2018 se establece la fórmula para el cálculo de dicho parámetro.

2.4.5.2. Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

Un tramo de carretera de dos carriles y de circulación en dos sentidos, tiene distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro, que circula por el mismo carril, a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible en el momento de iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento D_a , de acuerdo con la Figura N° 12, se determina como la suma de cuatro distancias, así:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (7)$$

Donde:

D_1 : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción del conductor que va efectuar la maniobra (m).

D_2 : Distancia recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril (m).

D_3 : Distancia de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo adelantante y el vehículo que viene en la dirección opuesta, recorrida durante el tiempo de despeje (m).

D_4 : Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto, estimada en $2/3$ de D_2 (m).

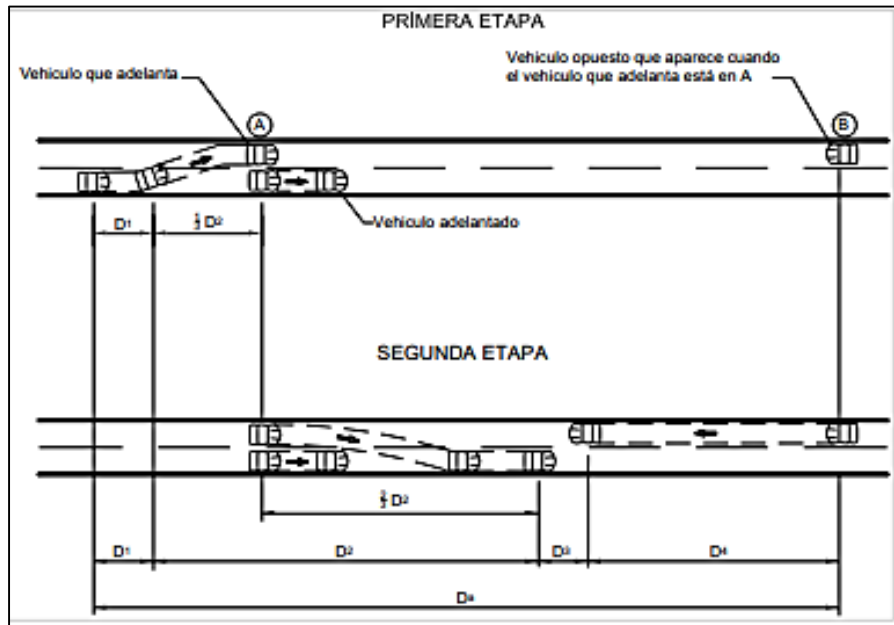


Figura N° 12: Distancia de adelantamiento en carreteras de 2 carriles 2 sentidos

Fuente: "Diseño Geométrico de Carreteras", por Cárdenas (2015, p.373)

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento se utilizará como guía los valores indicados en el Manual AASHTO, que se presentan en la Tabla N°38 para cuatro (4) rangos de velocidad específica V_e , los cuales se fundamentan en una gran cantidad de observaciones de campo relacionadas con el comportamiento de los conductores.

La distancia D_1 recorrida durante el periodo de la maniobra inicial, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_1 = 0.287t_1 \left(V - m + \frac{at_1}{2} \right) \quad (8)$$

Donde:

t_1 : Tiempo de la maniobra inicial, (segundos).

a : Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el adelantamiento (km/h/s).

V : Velocidad del vehículo que adelanta (km/h).

m : Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a 15 km/h en todos los casos.

La distancia D_2 recorrida por el vehículo adelantante durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_2 = 0.287Vt_2 \quad (9)$$

Donde:

t_2 : Tiempo empleado por el vehículo adelantante desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, (segundos). Este tiempo varía entre 9.3 y 10.4 segundos.

V: Velocidad del vehículo que adelanta (km/h).

La distancia de seguridad D_3 , entre el vehículo adelantante y el vehículo que viene en la dirección opuesta, recorrida durante el tiempo de despeje, se encontró en estos estudios que varía entre 30 y 90 metros.

La distancia D_4 , recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto, suponiendo que circula a la misma velocidad del vehículo adelantante, es igual a la distancia recorrida por el vehículo adelante desde el momento en que invade el carril del sentido opuesto hasta que regresa a su carril. Esto es:

$$D_4 = \frac{2}{3}D_2 \quad (10)$$

En la Tabla N° 39 se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , calculados con los criterios anteriores para carreteras de dos carriles dos sentidos, donde se asume que la velocidad del vehículo adelantado es la velocidad del volumen de tránsito cercano a la capacidad, menor en 15 km/h a la velocidad del vehículo que adelanta.

Tabla N° 39: Elementos de adelantamiento en carreteras de dos sentidos

Componente de la maniobra de adelantamiento	Rango de la velocidad específica del elemento en el se efectúa la maniobra, V_e (km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	Velocidad del vehículo que adelanta, V (km/h)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
Maniobra inicial :				
a = Aceleración promedio (km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
t_1 = Tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
D_1 = Distancia recorrida (m)	45	66	89	113
Ocupación del carril contrario :				
t_2 = Tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
D_2 = Distancia recorrida (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad :				
D_3 = Distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto :				
D_4 = Distancia recorrida (m)	97	130	168	209
Distancia total :				
$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$	317	446	583	726

Fuente: “Diseño Geométrico de Carreteras”, por Cárdenas (2015, p. 375)

Tabla N° 40: Mínimas distancias de adelantamiento en carreteras de dos sentidos

Velocidad específica del elemento en el que efectúa la maniobra, V_e (km/h)	Velocidad del vehículo adelantado (km/h)	Velocidad del vehículo que adelanta, V (km/h)	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento D_a (m)	
			Calculada	Redondeada
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Fuente: “Diseño Geométrico de Carreteras”, por Cárdenas (2015, p. 376)

En carreteras de dos carriles y dos sentidos de circulación, se debe procurar obtener la máxima longitud posible en que la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor a la mínima dada por las tablas anteriores. Por esto, como norma de diseño, se deben proyectar en tramos de 5 kilómetros, varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada. En la Tabla N°41, se presenta como guía, la frecuencia con la que se deben presentar oportunidades de adelantar o el porcentaje mínimo habilitado para adelantamiento en el tramo, de acuerdo a la velocidad de diseño del tramo homogéneo.

Tabla N° 41: Oportunidades de adelantar por tramos de 5 km

Velocidad de diseño del tramo homogéneo VTR (kmh)	20-60	60-80	80-100
Porcentaje mínimo de la longitud con distancia de visibilidad de adelantamiento (%)	20%	30%	40%

Fuente: “Diseño Geométrico de Carreteras”, por Cárdenas (2015, p. 376)

A continuación, se presenta la Tabla N° 42, que muestra la comparación de las distancias de visibilidad adelantamiento de los manuales del MTC:

Tabla N° 42: Cuadro comparativo de distancia de visibilidad de adelantamiento

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO		
FÓRMULA	$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$	
Manuales de Carreteras	DG-2018	✓
	DG-2014	✓
	DG-2013	✓
	DG-2001	No establece fórmula ni tabla de valores
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	Proporciona tabla de valores
	BVT-2005	Proporciona tabla de valores
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	No presenta fórmula ni tabla de valores

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°42, en el año 1978 no proporcionaba ni fórmula ni tampoco una tabla de valores de distancia de visibilidad de adelantamiento, para el año de 2005 y 2008 se presentó la misma tabla de valores, en función a la velocidad de diseño (para velocidades

de 30 km/h a 60 km/h) y finalmente en los años de 2001, 2013, 2014 y 2018 se establece la fórmula para el cálculo de dicho parámetro.

2.4.5.3. Distancia de Visibilidad de Cruce

La presencia de intersecciones a nivel, hace que potencialmente se puedan presentar una diversidad de conflictos entre los vehículos que circulan por una y otra vía. La posibilidad de que estos conflictos ocurran, puede ser reducida mediante la provisión apropiada de distancias de visibilidad de cruce y de dispositivos de control acordes.

El conductor de un vehículo que se aproxima por la vía principal a una intersección a nivel, debe tener visibilidad, libre de obstrucciones, de la intersección y de un tramo de la vía secundaria de suficiente longitud que le permita reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar una colisión.

La distancia mínima de visibilidad de cruce considerada como segura, bajo ciertos supuestos sobre las condiciones físicas de la intersección y del comportamiento del conductor, está relacionada con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante el tiempo percepción - reacción y el correspondiente de frenado.

Por lo antes indicado, en las intersecciones a nivel deberá existir visibilidad continua a lo largo de las vías que se cruzan, incluyendo sus esquinas, que les permita a los conductores que simultáneamente se aproximan, verse mutuamente con anticipación y así evitar colisiones. Ante una situación de éstas, el conductor que circula por la vía secundaria deberá tener la posibilidad de disminuir la velocidad y parar en la intersección con la vía principal.

Las relaciones entre el espacio, el tiempo y la velocidad, definen el triángulo de visibilidad requerido, libre de obstrucciones, o el establecimiento de las modificaciones necesarias en la velocidad de aproximación a los accesos cuando se usa un triángulo de visibilidad de dimensiones menores a la requerida. El triángulo de visibilidad en la aproximación a los accesos de una intersección se muestra en la Figura N° 13. Por tanto, cualquier objeto ubicado dentro del triángulo de visibilidad, lo suficientemente alto, que se constituya en una obstrucción a la visibilidad lateral, deberá ser removido.

Por otra parte, después de que un vehículo se ha detenido en el acceso de una intersección por la presencia de una señal de "PARE", su conductor deberá tener la suficiente distancia de visibilidad para realizar una maniobra segura a través del área de la intersección, ya sea para cruzar de frente la vía principal o para girar a la derecha o izquierda.

Simultáneamente se deberá proveer la suficiente distancia de visibilidad a los conductores que viajan sobre la vía principal, la cual deberá ser al menos igual a la distancia que recorre el vehículo sobre la vía principal durante el tiempo que le toma al vehículo de la vía secundaria realizar su maniobra de cruce o giro.

La Figura N° 13, muestra el triángulo de visibilidad requerido bajo esta condición. La distancia de visibilidad para una maniobra de cruce de la vía principal por un vehículo detenido en la vía secundaria, está basada en el tiempo que le toma a este vehículo en transponer la intersección, y la distancia que recorre un vehículo sobre la vía principal a la velocidad de diseño durante el mismo tiempo. La distancia mínima de visibilidad de cruce necesaria a lo largo de la vía principal se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$d = 0.278 V_e (t_1 + t_2) \quad (11)$$

Dónde:

d: Distancia mínima de visibilidad lateral requerida a lo largo de la vía principal, medida desde la intersección, en metros. Corresponde a las distancias d1 y d2 de la Figura N° 11.

Ve : Velocidad Específica de la vía principal, en km/h. Corresponde a la Velocidad específica del elemento de la vía principal inmediatamente antes del sitio de cruce.

t1 : Tiempo de percepción – reacción del conductor que cruza, adoptado en dos y medio segundos (2.5 s).

t2: Tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S, cruzando la vía principal, en segundos. (MTC, 2018, pp. 111-112)

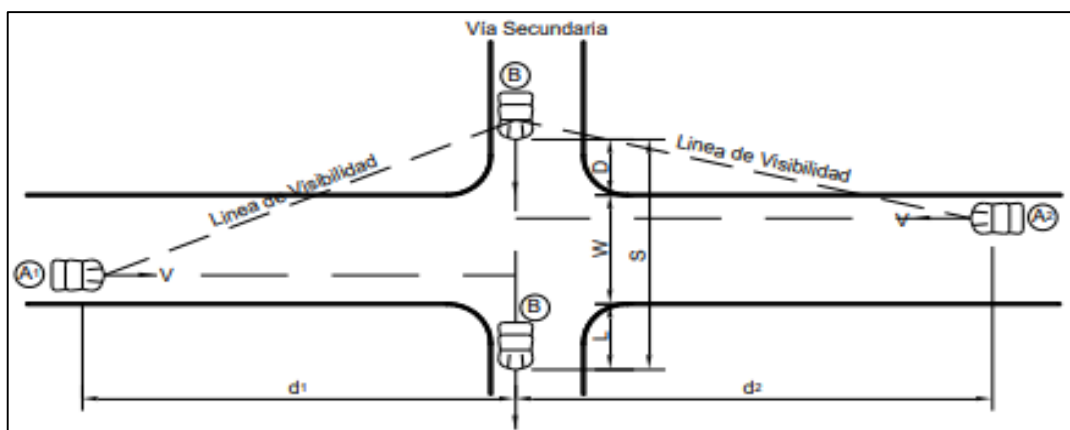


Figura N° 13: Distancia de visibilidad en intersecciones

Fuente: “Manual DG-2018”, por MTC (2018, p. 112)

A continuación, se muestra la Tabla N° 43, que presenta la comparación de las distancias de visibilidad de cruce de los manuales del MTC:

Tabla N° 43: Cuadro comparativo de la distancia de visibilidad de cruce

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE CRUCE		
FORMULA		$d = 0.278 V_e (t_1 + t_2)$
Manuales de Carreteras	DG-2018	✓
	DG-2014	✓
	DG-2013	✓
	DG-2001	$D_c = 0.275 V (t_p + t_a)$
Manual de Carreteras No Pavimentadas	BVT-2008	No proporciona fórmula
	BVT-2005	No proporciona fórmula
Norma para Caminos Vecinales	MCV-1978	No proporciona fórmula

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°43, en el año de 1978, 2005 y 2008 no se proporcionaba fórmula para el cálculo de distancia de visibilidad de cruce, en el año 2001 se establece la expresión para calcular dicho parámetro en una intersección en la que los vehículos de la carretera secundaria deben efectuar la operación de cruce desde el estado de detención total, y para el año de 2013, 2014 y 2018 se proporcionan la misma fórmula de cálculo y que es similar a la del DG-2001.

2.4.6. Topografía de terreno

- Terreno plano (tipo 1) Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.
- Terreno ondulado (tipo 2) Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.
- Terreno accidentado (tipo 3) Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.
- Terreno escarpado (tipo 4) Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo. (MTC, 2018, p. 14)

2.5. Formulación de la hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La propuesta de una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países permitirá modificar la norma del MTC.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) El diseño de la sección transversal mejora el tráfico en las trochas carrozables, a través del análisis de estándares de otros países.
- b) La velocidad de diseño determina el alineamiento horizontal y mejora la seguridad vial a través del análisis de estándares de otros países.
- c) El alineamiento vertical se actualizará de acuerdo a la topografía del terreno a través del análisis de estándares de otros países.

2.5.3. Variables

2.5.3.1. Definición Conceptual de las Variables

- Variable Independiente (Estandarización del diseño geométrico de trochas carrozables): es el mínimo nivel que se debe tomar en cuenta para elaborar el diseño geométrico de una trocha carrozable.
- Variable Dependiente (Normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones): son normas que contienen la información para diferentes procedimientos, en la elaboración del diseño geométrico de los proyectos, de acuerdo a su categoría y nivel de servicio, en concordancia con las demás normativas vigentes sobre la gestión de la infraestructura vial.

2.5.3.2. Operacionalización de variables

Las variables son enunciados y se descompondrán en los niveles necesarios como: indicadores o dimensiones.

Tabla N° 44: Operacionalización de variables

VARIABLE X	DIMENSIONES X	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
Norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables	Sección Transversal	Calzada Berma	m	Tesis, manuales , normativas
	Alineamiento Horizontal	Tramo en tangente Curva horizontal	- -	Manual de diseño geométrico de carreteras 2018
	Alineamiento Vertical	Curva vertical Pendiente máxima	- %	Ingeniería de Carreteras
VARIABLE Y	DIMENSIONES Y	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
Norma del MTC	Tráfico	IMDA Vehículo de diseño	veh/día -	Manual de carreteras de bajo volumen ETIOPÍA - África
	Seguridad	Distancia de Parada Distancia de Adelantamiento	m	Manual de carreteras de bajo volumen South Sudan- África
	Topografía	Plano Ondulado Accidentado Escarpado	-	Manual DG-2018

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel

El tipo de investigación de la presente tesis fue correlacional ya que se estudió la relación entre la variable independiente (estandarización del diseño geométrico de trochas carrozables) y dependiente (normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones), explicativo, pues la investigación aclaró la relación causa-efecto entre las variables de estudio y descriptivo porque describió el problema principal, que es como se puede modificar la norma del MTC, a través del análisis de estándares de diseño geométrico de otros países, explicando que en la actual normativa vigente (DG-2018), existe un vacío respecto al diseño geométrico de trochas carrozables.

El método de investigación fue hipotético – deductivo, pues a través del análisis y observaciones de manuales de países del extranjero, se realizó el proceso de inducción para así obtener la información de diseño geométrico para las trochas carrozables en el Perú.

3.2. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación tuvo un diseño de investigación no experimental según su temporalización diseño Transversal Correlacional.

El enfoque de la investigación fue mixta (cuantitativa-cualitativa), ya que supone el proceso de recolección de datos, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos.

Población y muestra

➤ **Población.**

La muestra que se consideró en el estudio fue del camino vecinal; EMP. AP-112 (Almaccasa) – Yanarico – Distrito de Huaylliti – Grau– Región Apurímac.

➤ **Muestra.**

TRAMO 01 Emp. AP-112 (Almaccasa) – Yanarico – Distrito de Huayllati – Grau – Apurímac

3.3. Técnicas de recolección de datos

3.3.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Se recurrió a la búsqueda de manuales de carreteras de bajo volumen de tránsitos nacionales e internacionales, se hizo una revisión rápida para poder elaborar fichas en cuanto al diseño geométrico de las trochas carrozables sacando de esta manera un cuadro comparativo de los diferentes manuales del extranjero tomando en cuenta el IMDA, la velocidad de diseño y la topografía de terreno. Seguidamente se realizó un análisis de las fichas técnicas con el fin de sacar un sustento; de tal modo que con este soporte y el cuadro comparativo se procedió a un análisis a la realidad en el Perú y se realizó una conclusión en cuanto a diseño geométrico de trochas (Ver figura N°14).

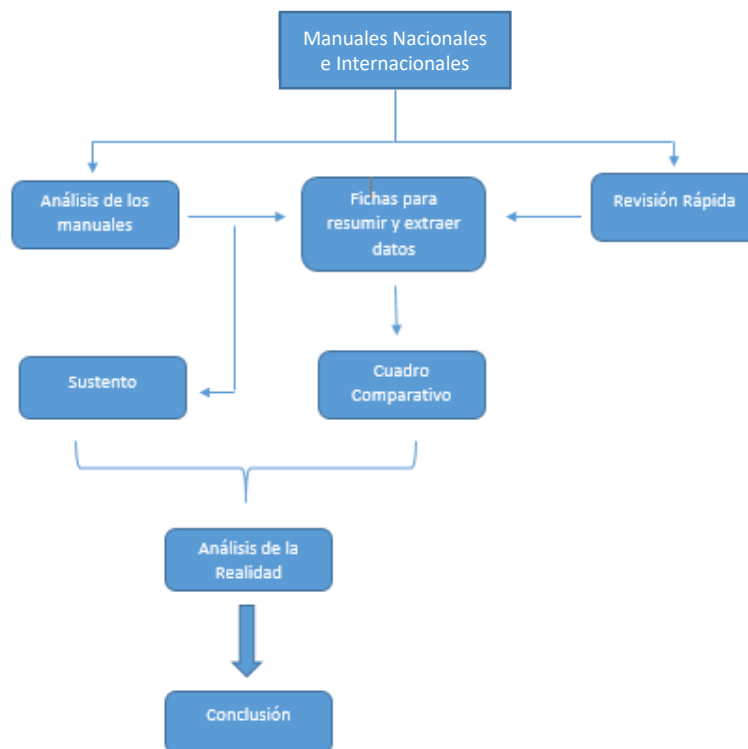


Figura N° 14: Flujo-grama de procedimientos de recolección de datos.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

En el presente trabajo se recolectó, analizó y comparó la información existente en los diferentes manuales del extranjero de diseño geométrico para caminos de bajo volumen de tránsito, cabe señalar que estos valores extraídos en un futuro pueden cambiar pues como sabemos los manuales están en constante proceso de

actualización ya que cómo toda ciencia y técnica, la ingeniería vial siempre está en constante proceso de innovación.

3.3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

En la primera fase se recopiló toda la información de los manuales internacionales (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia, Paraguay, Brasil, Australia, EE.UU. y Etiopía), papers y tesis tanto nacionales como internacionales, sobre el diseño geométrico de caminos (sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical) con IMDA menor a 500 veh/día, para luego ser analizados y comparados, para realizar la propuesta de los parámetros de diseño geométrico para las trochas, así se siguieron los siguientes pasos:

- Se realizaron fichas de resumen de la recopilación de datos.
- Análisis y comparación de la información de manuales.
- Fichas de Verificación de campo de la ruta EMP. AP-112 (Almaccasa) – Yanarico – Distrito de Huallayati – Grau – Región Apurímac.
- Tablas de doble entrada
- Cuadros comparativos

Para el análisis de información se realizará la lectura de los manuales, a fin de obtener datos de los estándares de diseño geométrico de una trocha carrozable de diferentes países; para de este modo poder elaborar un cuadro de resultados en cuanto al diseño geométrico de dichos caminos.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Revisión de Manuales de otros Países

Se evaluará la sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical de manuales de los siguientes países como:

- Etiopía
- Chile
- Colombia
- Ecuador
- Bolivia
- Paraguay
- Brasil
- Australia
- EE.UU.

Para poder sacar resultados de su diseño geométrico de trochas carrozables y de este modo aplicar a las carreteras que se han diseñado en el Perú de esta clase.

4.1.1. Diseño de Caminos de Bajo Volumen (Etiopía - África)

a) Sección Transversal

La sección transversal incluye la forma y tamaño de la superficie de rodadura, bermas, los taludes laterales de terraplenes a las zanjas de drenaje, zanjas de drenaje a sí mismos, y las pendientes a la masa, tomamos solo carril y berma para nuestro caso:

Tabla N° 45: Sección transversal Etiopía

Velocidad de diseño (km/h)	IMD (veh/día)	Carril	Berma (m)	Total
30/20	1 a 25	3.0	0.75	4.50
40/20	25 a 75	3.3	1.5	6.30
50/25	75 a 150	6.0	1.0	8.00
50/25	150 a 300	6.5	1.0	8.50

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la Tabla N°45 los anchos para carriles y bermas tomados en África – Etiopía, y estas se clasificaron según el IMD (índice medio diario) de 1 a 25 veh/día, de 25 a 75 veh/día, de 75 a 150 veh/día y de 150 a 300 veh/día. Los anchos totales oscilan desde 4.50m a 8.50m, en función al IMD y las velocidades con la que transitan los vehículos.

A continuación, se muestra la sección transversal de una carretera:

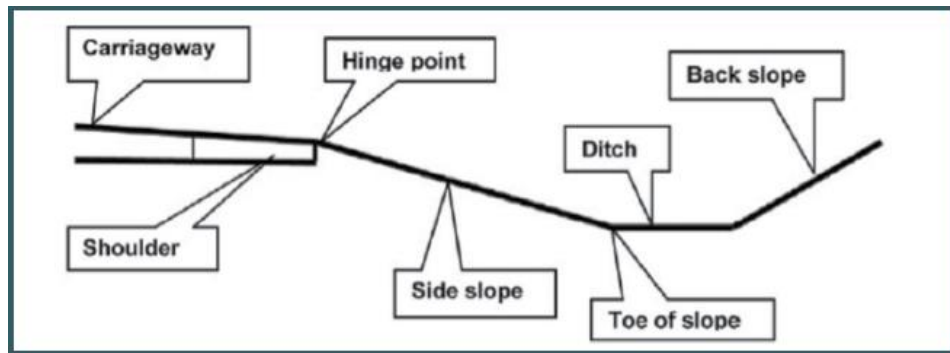


Figura N° 15: Detalles del borde de la carretera
Fuente: Manual de Etiopía, p.152

La figura N°15 ilustra la sección transversal general y define los diversos elementos que lo componen, para nuestro caso se utilizará solamente el carril (carriageway) y berma (shoulder).

b) Alineamiento Horizontal

El diseño del alineamiento horizontal debe estar dirigido a evitar los cambios bruscos de la curvatura, lo que se consigue con una velocidad de conducción segura y uniforme. Los componentes considerados son:

Tabla N° 46: Componentes del alineamiento horizontal

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de Parada (m)	Distancia de Adelantamiento (m)	Radios de curvatura mínimo (m)	
			Radio mínimo horizontal de SE =4%	Radio mínimo horizontal de SE =6%
50	70	160	110	100
40	50	110	70	60
30	30	75	35	30
20	20	-	17	15

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°46 se muestra los Radios mínimos para el diseño del alineamiento horizontal, la distancia de parada y adelantamiento; en función de la velocidad de

diseño. Se sabe que las velocidades para las trochas carrozables varían desde 20 km/h hasta 50km/h y de este modo el radio mínimo varía desde 15m hasta los 100m para peraltes de 6% y en peraltes de 4% varían desde 17m hasta 110m.

c) Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de un camino tiene como finalidad la presentación de la inclusión de la diferencia algebraica de gradiente (G%) entre los lados de subida y bajada. Además, la ecuación de la curva vertical es una parábola en lugar de un círculo.

Tabla N° 47: Alineamiento vertical - Etiopía.

IMD	Topografía	Pendiente (%)
1 - 25 veh/día	Plano	6
	Ondulado	6
	Accidentado	6
	Escarpado	6
25 -75 veh/día	Plano	6
	Ondulado	9
	Accidentado	12
	Escarpado	12
75 - 150 veh/día	Plano	6
	Ondulado	9
	Accidentado	9
	Escarpado	9
150 - 300 veh/día	Plano	6
	Ondulado	8
	Accidentado	10
	Escarpado	10

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 47 se realizó un cuadro resumen sobre el Alineamiento Vertical, se hizo la clasificación para diferentes IMD, de 1-25 veh/día obteniendo pendientes máximas de 6% para terrenos escarpado y 6% para terrenos planos, para 25-75 veh/día pendientes de 6% para topografía plana y 12% para topografía escarpada, 75-150 veh/día pendientes de 6% para terreno plano y 9% para terreno escarpado y para IMD de 150 -300 veh/día pendientes de 6% para terrenos planos y 10% para terrenos escarpados.

Seguidamente se hará un cuadro resumen de las pendientes máximas en función del IMD.

Tabla N° 48: Pendientes máximas según IMD

IMD	Pendiente Máxima (%)
1 a 25 veh/día	6
25 a 75 veh/día	12
75 a 150 veh/día	9
150 a 300 veh/día	10

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 48, se muestra los valores de pendiente máxima de acuerdo al IMD, como se observa el valor de pendiente máxima a utilizar es de 6% para todos los tipos de topografía, de 12% para un IMD de 25 a 75 veh/día, en terreno accidentado y escarpado. Para un IMD de 75 a 150 varían de un máximo de 9% para terrenos ondulados, accidentados y escarpados, para un IMD de 150 a 300 varían de 10% para topografía accidentada y escarpada.

4.1.2. Manual de Carreteras (Chile)

a) Sección Transversal

La sección transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de estas, según el plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Tabla N° 49: Anchos totales

Velocidad del Proyecto (km/h)	IMD (veh/día)	Ancho de la Pista (m)	Ancho de la Berma (m)	Total
40	menor a 300	3 m	0.0 - 0.5 m	4.00 m
30		2 - 3 m	0.0 - 0.5 m	3.00 m

Fuente: Manual de Carreteras Chile

En la Tabla N°49 para el Manual de Carreteras de Chile se considera un ancho total para dos velocidades 30 y 40 km/h y los anchos varían entre 3.00 y 4.00m, para un IMD menor a 300 veh/día.

Seguidamente se mostrará la sección transversal de una vía de calzada única:

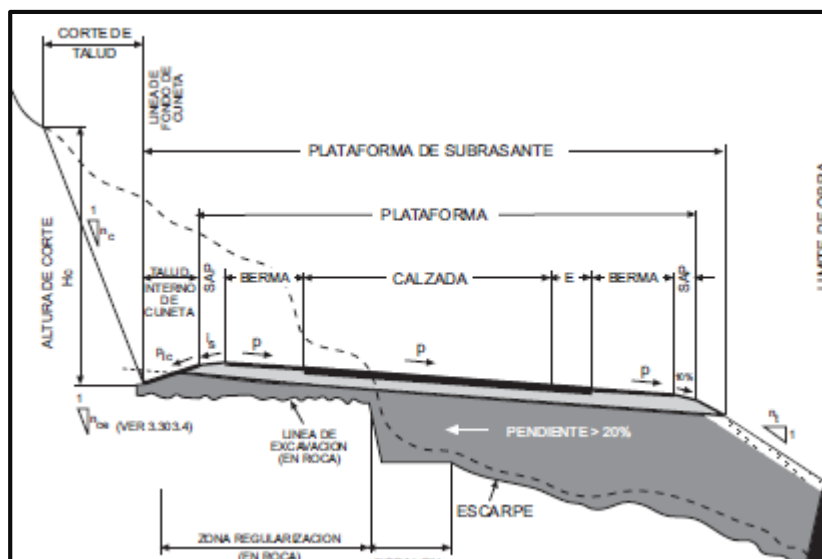


Figura N° 16: Sección Transversal - Chile
Fuente: Manual de Carreteras de Chile

En la Figura N°16 se muestra la Sección Transversal donde figura que está compuesta por la calzada y berma que son de interés para nuestra investigación.

b) Alineamiento Horizontal

Tabla N° 50: Alineamiento horizontal – Chile

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i = 0\%$ D_p (m)	Distancia de Adelantamiento D_a (m)	Radio Mínimo de Curva R_m (m)
30	25	180	25
40	38	240	50
50	52	300	80
60	70	370	120

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°50, se puede apreciar que los radios mínimos en curva depende de la velocidad, en este caso para un camino de IMD menor a 300 veh/día se utilizara una velocidad mínima de 30km/h donde el radio recomendado es de 25m, la Distancia de Visibilidad de Parada = 25m y Distancia de Visibilidad de Adelantamiento = 180m ; para una velocidad de 50 km/h nos menciona un radio mínimo de 80m , una Distancia de Visibilidad de Parada de 52m y una Distancia de Visibilidad de Adelantamiento de 300m y finalmente para una velocidad de proyecto máxima de $V = 60\text{km/h}$ el radio que menciona el manual es de 120m, la

Distancia de Visibilidad de Parada =70m y Distancia de Visibilidad de Adelantamiento= 370m.

c) Alineamiento Vertical

Tabla N° 51: Resumen de alineamiento vertical - Chile

Tipo de terreno	Pendiente Máxima (%)
Llano	3%
Ondulado	7%
Montañoso	9%

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°51 nos indican que la pendiente máxima es elemento importante del Alineamiento Vertical, para Chile las pendientes varían de acuerdo a la topografía para terreno llano la pendiente recomendada es de 3%, para un terreno ondulado 7 % y para un terreno montañoso la pendiente sugerida es de 9% según el Manual de Diseño de Carreteras.

4.1.3. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Colombia).

a) Sección Transversal

Tabla N° 52: Cuadro de anchos totales (m)- Colombia

Tipos de Terreno		Ancho de Calzada			
		Plano	Ondulado	Montañoso	Escarpado
Velocidad de	20	-	-	6.00	6.00
diseño del	30	-	6.00	6.00	6.00
tramo	40	6.00	6.00	6.00	-
Homogéneo	50	-	-	-	-
(km/h)					
Tipos de Terreno		Ancho de Berma			
		Plano	Ondulado	Montañoso	Escarpado
Velocidad de	20	-	-	0.50	0.50
diseño del	30	-	0.50	0.50	0.50
tramo	40	1.00	1.00	0.50	0.50
Homogéneo	50	-	-	-	-
(km/h)					

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Tabla N°52 los anchos de calzadas y bermas utilizados en Colombia para trochas carrozables, y estos están en función al tipo de terreno y a velocidad, para el caso de una topografía escarpada con una velocidad de 20 km/h se tiene un ancho total 7.00m.

La sección transversal describe los elementos de la carretera en un plano normal a su eje. La Figura N°17 nos ilustra las secciones típicas según la categoría de la carretera, en este caso es una vía terciaria.

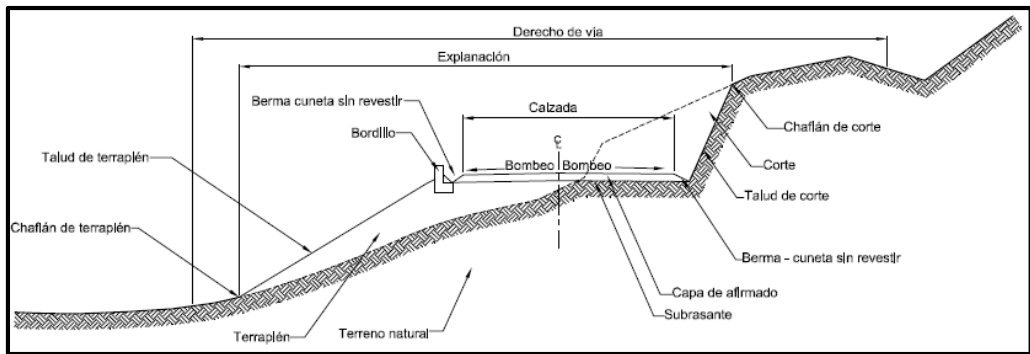


Figura N° 17: Sección Transversal – Colombia
Fuente: Manual de Carreteras de Colombia, p.150

b) Alineamiento Horizontal

Tabla N° 53: Cuadro resumen de alineamiento horizontal

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i=0\%$ D_p (m)	Distancia de Adelantamiento D_a (m)	Radio Mínimo de Curva R_m (m)
30	20	130	15
40	35	200	21
50	50	270	43
60	65	345	79

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°53 se muestra los valores utilizados en Colombia en cuanto al Alineamiento Horizontal, para una velocidad mínima de $V=20$ km/h, el radio mínimo para un peralte de $e=6\%$ es 15m, la Distancia de Visibilidad de Parada= 20m, Distancia de Visibilidad de Adelantamiento = 130m; y para una velocidad máxima de $V=50$ km/h, el radio mínimo es de 79m, la Distancia de Visibilidad de

Parada = 65m y una Distancia de Visibilidad de Adelantamiento de 345m respectivamente.

c) Alineamiento Vertical

Es necesario que los elementos del diseño vertical tengan la misma Velocidad de Proyecto del sector en planta que coincide con el elemento vertical de estudio. Tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 54: Cuadro de alineamiento vertical- Colombia

Velocidad del Proyecto (km/h)	Tipo de terreno	Pendiente Máxima i (%)	Longitud de Tangente (m)
50	Plano	3	40
40	Ondulado	6	60
30	Montañoso	8	80
20	Escarpado	10	140

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 54, se observa los valores de la pendiente máxima (%) que varían de acuerdo a la topografía, que para un terreno de tipo plano la pendiente es de 3%, para un tipo ondulado de 6% , para el montañoso es de 8% y por ultimo para el terreno escarpado se tiene una pendiente máxima de 10%.

4.1.4. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 (Ecuador)

a) Sección Transversal

La sección transversal típica a adoptarse para una carretera depende casi exclusivamente del volumen del tráfico y del terreno y por consiguiente de la velocidad de diseño más apropiada para dicha carretera.

Tabla N° 55: Anchos totales – Ecuador

IMD (veh/día)	Carril (m)	Berma (m)	Total(m)
100 a 300 TPDA	6.00	0.60	7.20
Menos de 100 TPDA	4.00	*	5.20

Fuente: Elaboración Propia

*Una parte del soporte lateral está incorporado en el ancho de la superficie de rodadura (no se considera la berma como tal).

La Tabla N°55 nos señala que el ancho total es decir ancho de carril más ancho de berma que se utiliza en Ecuador para vías vecinales, están en función de IMD como se muestra y para un IMD de 100 a 300 TPDA el ancho total es 7.20m y para un IMD menos de 100 TPDA el ancho es de 5.20 m.

En la Figura N°18 se muestra la sección transversal, de clase 4, función vecinal; donde nos muestra las medidas del carril y berma (refugio).

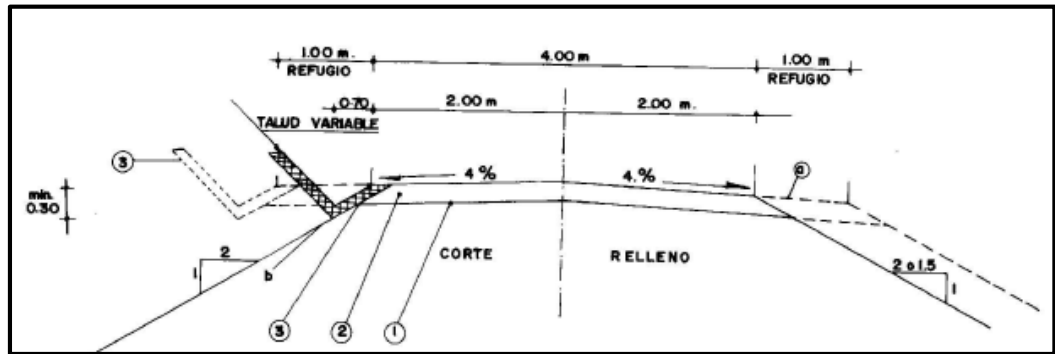


Figura N° 18: Sección Transversal – Ecuador

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 – Ecuador, pág. 247

b) Alineamiento Horizontal

Es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean estas circulares o de transición.

Tabla N° 56: Alineamiento horizontal – Ecuador

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i=0\%$ D_p (m)	Distancia de Adelantamiento D_a (m)	Radio Mínimo de Curva R_m (m)
20	20	-	20
25	25	80	25
30	30	110	30
35	35	130	35
40	40	150	45
45	50	180	60
50	55	210	80

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°56 nos presenta la Distancia de Visibilidad de Parada (m), distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m) y Radio mínimo (m) en función a la Velocidad del proyecto (km/h); para una $v=20\text{km/h}$ el radio es de 20m y la distancia de parada= 20m, y para una velocidad máxima $v=50\text{km/h}$, el radio es de 80m, distancia de parada de 55m y adelantamiento de 210m.

c) Alineamiento Vertical

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener un buen alineamiento vertical.

Tabla N° 57: Alineamiento vertical – Ecuador

IMD (veh/día)	Pendientes máximas (%)		
	Llano	Ondulado	Montañoso
100 a 300 TPDA	6	8	12
Menos de 100 TPDA	6	8	14

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°57 se muestran los valores de las pendientes máximas utilizadas en Ecuador, ellas están en función a la topografía del terreno y al IMD; el valor mínimo utilizado en dicho país es de 6% para terrenos llanos y el valor máximo de pendiente es de 14% para terrenos montañosos con un IMD menor a 100 TPDA.

4.1.5. Manual de Diseño Geométrico (Bolivia)

a) Sección Transversal

La sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de estas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene al eje de la carretera.

Tabla N° 58: Anchos totales- Bolivia

Velocidad (km/h)	IMD	Pistas (m)	Berma (m)	Total
30	Menor a 500 veh/día	2.0 - 3.0	0.0 - 0.5(2)	3.0 - 4.0
40		3.0	0.0 - 0.5(2)	5.00
50		3.0 – 3.5	0.5 - 1.0(2)	5.0 – 5.5

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°58 nos señala que los anchos totales utilizados en Bolivia para caminos de desarrollo (que tienen un IMD menor a 500 veh/día), están en función

de la Velocidad (km/h), estos anchos son 3.0m o 4.0m r para una velocidad de 30km/h, un ancho máximo de 5.00 – 5.50 m para una velocidad de 50km/h.

En la Figura N°19 se presenta un perfil transversal mixto (corte y terraplén) correspondiente a una ruta bidireccional de dos carriles, en curva. En ellas aparecen los elementos fundamentales que normalmente se dan en una carretera.

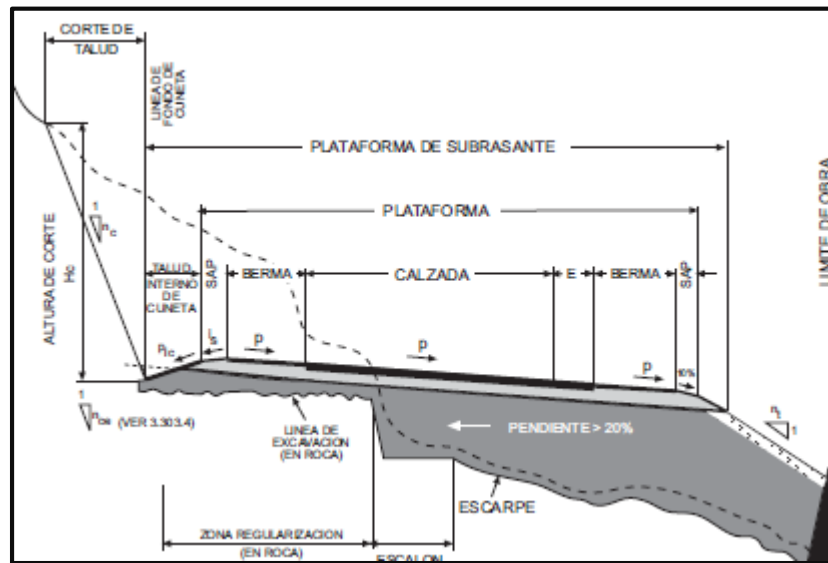


Figura N° 19: Sección Transversal – Bolivia
Fuente: Manual de Diseño Geométrico – Bolivia, p.3

b) Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazado a lo menos la distancia mínima de visibilidad de frenado.

Tabla N° 59: Alineamiento horizontal- Bolivia

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i=0\%$ D_p (m)	Distancia de Adelantamiento D_a (m)	Radio Mínimo de Curva R_m (m)
30	25	180	25
40	38	240	50
50	52	300	80

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°59 nos expone que para una velocidad de 30km/h el radio mínimo es de 25m, la Distancia de Visibilidad de Parada 25m y la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento de 180m, y los valores para una velocidad máxima para este

manual V= 50km/h son: el radio mínimo de 80m, distancia de Visibilidad de Parada 52m y Distancia de Visibilidad de Adelantamiento 300m.

c) Alineamiento Vertical

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

Tabla N° 60: Alineamiento vertical – Bolivia

Tipo de terreno	Pendiente Máxima (%)
Llano	3
Ondulado	7
Montañoso	9

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en la Tabla N°60 que el valor de la pendiente máxima a ser utilizada es de 9% para terreno montañoso, para un terreno ondulado la pendiente sugerida es 7% y una pendiente como máxima de 3% para una topografía llana.

4.1.6. Manual de Carreteras del Paraguay

a) Sección Transversal

La sección transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de esta, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Tabla N° 61: Anchos totales- Paraguay

Velocidad (km/h)	IMD	Carril (m)	Berma (m)	Total
30	Menor a 500 veh/día	2.0 - 3.0	0.0 - 0.5(2)	5.0 - 6.0
40		3	0.0 - 0.5(2)	7.0 - 8.0
50		3.0 - 3.5	0.5 - 1.0(2)	8.0 - 9.0

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°61 nos indica que los anchos para poder diseñar una carretera terciaria o de desarrollo según el Manual de Carreteras de Paraguay, dependen del IMD en este caso se considera menos de 500 veh/día para lo cual se utiliza carriles bidireccionales o sentidos opuestos y los anchos a utilizarse son para distintas

velocidades como: 30 km/h un ancho de 5.0 – 6.0 m y para una velocidad máxima de 50 km/h, anchos de 8.00- 9.00 m.

b) Alineamiento Horizontal

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijan más adelante y de aquellos tramos en recta que sean indispensables.

Tabla N° 62: Alineamiento horizontal – Paraguay

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i=0\%$ Dp (m)	Distancia de Adelantamiento Da (m)	Radio Mínimo de Curva Rm (m)
30	25	180	25
40	38	240	50
50	52	300	80

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°62 se expone los valores de distancia de Parada, Distancia de Adelantamiento y radio mínimo en curva que se utilizan en carreteras terciarias, local y desarrollo llamados así en Paraguay; y estos valores son en cuanto a radios el mínimo a utilizar es 25m y el máximo 80m, en la distancia de Parada el mínimo es 25m y 52m el máximo, y distancia de adelantamiento mínimo de 180m y el máximo de 300m.

c) Alineamiento Vertical

Proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la corona terminada de la plataforma vial. Al eje de la corona en alineamiento vertical se le llama línea de rasante. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

Tabla N° 63: Alineamiento vertical – Paraguay

Velocidad del Proyecto (km/h)	Llano	Ondulado	Montañoso
50	6	7	9

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°63 nos señala que para poder calcular la pendiente que se debería utilizar para caminos terciarios de Paraguay, esto depende de la Velocidad y el tipo de terreno; para la única velocidad con la que se trabaja en este país es de 50 km/h

la pendiente a utilizar es 9% en terreno montañoso, mientras que un terreno ondulado se utilizará una pendiente de 7% y finalmente para una topografía Llana se empleará una pendiente de 6%.

4.1.7. Manual Básico de Caminos y Vías vecinales (Brasil)

a) Sección Transversal

Tabla N° 64: Anchos totales- Brasil

Clase	IMDA (veh/día)	Carril (m)	Berma (m)	Total
D	200 - 600	6.4	1.2	8.80
E	Menor a 200	6.0	1.0	8.00

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la Tabla N°64 nos da valores de anchos de carriles más bermas (llamado calzada) utilizados en Brasil para Caminos vecinales, existen 2 clases que son: la clase E para un IMD menor a 200 veh/día el cual propone un ancho de carril de 6.00 m y el ancho de berma 1.00 m, por consecuencia el ancho total sería 8.00m y para la clase D que tiene un IMD de 200 – 600 veh/día, nos muestra un ancho de carril de 6.40m , un ancho de berma de 1.20m y un ancho total de calzada de 8.80m.

La Figura N°20 nos muestra la sección transversal, información que se extrajo del manual de Brasil.

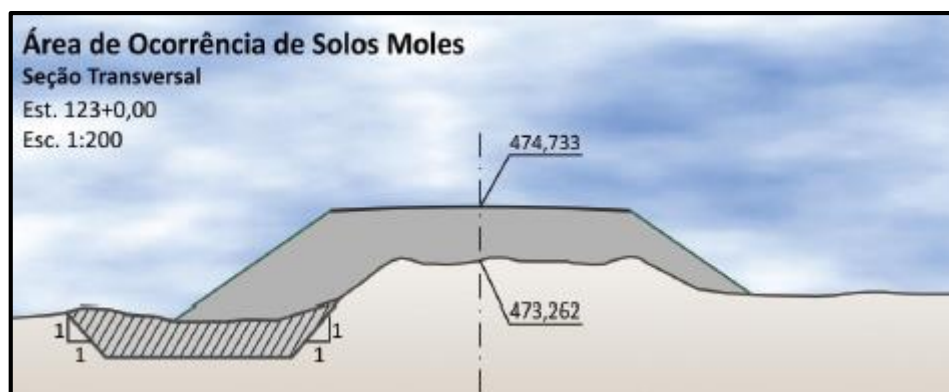


Figura N° 20: Sección Transversal - Brasil
Fuente: Manual Básico de Caminos y Vías Vecinales – Brasil, p.36

b) Alineamiento Horizontal

Tabla N° 65: Alineamiento horizontal – Brasil

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada $i=0\%$ Dp (m)	Distancia de Adelantamiento	Radio Mínimo de Curva Rm (m)
		Da (m)	
30	25	180	25
40	38	240	50
50	52	300	80

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°65 nos presenta los puntos claves para el diseño del alineamiento horizontal para caminos vecinales, los valores para la velocidad mínima de 30km/h son Distancia de Visibilidad de Parada = 25m, Distancia de Visibilidad de Adelantamiento = 180m y un radio mínimo = 25m; y para una velocidad máxima $V=50\text{km/h}$, Distancia de Visibilidad de Parada = 52m, Distancia de Adelantamiento = 300m y radio mínimo de 80m.

c) Alineamiento Vertical

Tabla N° 66: Alineamiento vertical - Brasil

Tipo de terreno	Pendiente Máxima (%) en relación al IMDA	
	200 - 600	menor a 200
Plano	7	7
Ondulado	10	11
Montañoso	16	16

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°66 nos muestra los valores de pendiente máxima para caminos vecinales llamados así en Brasil en relación al IMDA y al tipo de terreno, el valor mínimo de pendiente sería 7% en un terreno plano y para un terreno montañoso vendría hacer 16%; este valor es el máximo utilizado en los manuales analizados debido a la topografía que tiene dicho país.

4.1.8. Diseño de Carreteras (Australia)

a) Sección Transversal

Los elementos de sección transversal de interés para los diseñadores de LVR incluyen el ancho de la superficie de rodadura, el ritmo despejado y la caída transversal normal de la superficie para un drenaje adecuado. La práctica

convencional generalmente dicta un ancho de carril fijo. Sin embargo, para los caminos de acarreo, debe recordarse que puede haber vehículos muy grandes, a menudo” sobredimensionados”. La superficie de rodadura debe ser el doble del ancho del vehículo de diseño más un total de 3.50m.

Tabla N° 67: Anchos totales – Australia

IMDA (veh/día)	Carril (m)	Berma (m)	Total
Menor a 200	3.50	1.00	5.50 m

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en la Tabla N°67 el ancho del carril y berma para caminos con IMDA menor a 200 veh/día, que en este caso es 3.50m y 1.00m respectivamente, haciendo un ancho total de 5.50m para el diseño de caminos rurales municipales llamados así en Australia.

b) Alineamiento Horizontal

Tabla N° 68: Alineamiento horizontal- Australia

Velocidad del Proyecto (km/h)	Distancia de Parada i= 0% Dp (m)	Radio Mínimo de Curva Rm (m)
30	-	45
50	45	85

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°68 nos presenta los valores que componen el Alineamiento Horizontal en el Manual de Diseño de Carreteras de Australia se observa que se trabaja con 2 velocidades y estas son velocidad de 30km/h sugiriendo un radio mínimo (con peralte de 7%) de 45m y para una velocidad = 50km/h, la Distancia de Visibilidad de Parada recomendada es de 45m y el Radio mínimo de Curva (e=7%) sugerido es de 85m.

c) Alineamiento Vertical

Tabla N° 69: Alineamiento vertical - Australia

Topografía	Clase I	Clase II
	ADT = 0 a 50 veh/día	ADT = 50 - 400 veh/día
Plana	6	6
Ondulado	8	7
Montañoso	10	9

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 69 se nos muestra los valores de las pendientes máximas a utilizarse en el diseño geométrico de este tipo de caminos, los cuales dependen de la topografía y el IMD, para nuestra investigación se tomará la información para un IMDA 0 a 50 veh/día, da como valores 6% para una topografía plana, 8% para una topografía ondulada y 10% para una topografía montañosa.

4.1.9. AASTHO 2011 – EE.UU.

a) Sección Transversal

Tabla N° 70: Anchos totales - AASTHO

IMDA (veh/día)	Carril (m)	Berma (m)	Total
Menor a 50	5.40	-	5.40 m

Fuente: Elaboración Propia

Para la Tabla N° 70 se nos muestra el ancho total para un IMD menor a 50 veh/día y este es 5.40 m, la mayoría de los países hacen sus propuestas en sus manuales tomando en cuenta ASSTHO.

c) Alineamiento Vertical

Tabla N° 71: Pendientes máxima- AASTHO

Tipo de Terreno	Máxima pendiente (%) para la velocidad de diseño (km/h)			
	20	30	40	50
Plano	9	8	7	7
Ondulado	12	11	11	10
Montañoso	17	16	15	14

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°71 señala las pendientes propuestas por AASTHO en relación al tipo de terreno, los valores que se observan son 9% para una topografía plana, 12%

para una topografía ondulada y 17% para una topografía montañosa, todos estos valores para una velocidad de 20km/h.

4.1.10. Propuestas de Parámetros

Se muestra la Tabla N°72 donde se hizo un resumen de la sección transversal (carril y berma), alineamiento horizontal (radio mínimo, distancia de parada y distancia de adelantamiento) y alineamiento vertical (pendiente); todos estos dependen del IMD, velocidad y topografía. Se evaluó los manuales de diferentes países, entre ellos los que limitan con el Perú tales como: Chile, Bolivia, Ecuador, Brasil, Colombia y Paraguay. También se analizó Australia ubicado en el continente de Oceanía, Etiopía ubicado en África y el manual de ASSTHO (América del Norte) que están señalados en la tabla.

De este modo se hace una propuesta ajustada a la realidad por ser países vecinos y contar con un manual para este tipo de carreteras.

Tabla N° 72: Cuadro Resumen

Manuales	IMD	Velocidad	Sección Transversal			Alineamiento Horizontal				Alineamiento Vertical			
			Carril	Berma	Total	Dist. Parada	Dist. Adelantamiento	Radio Mínimo	Plano	Ondulado	Accidentado	Escarpado	
DG-2018	< 200	30/60	4.50 - 6.0	0.5	5.5 - 7.0	35	200	25	-	-	10%	-	
Etiopia	1 - 25	30/20	3.0	0.75	4.5	20	-	17 15	6%	6%	6%	6%	
	25 - 75	40/20	3.3	1.5	6.3	30	75	35 30	6%	9%	12%	12%	
	75 - 150	50/25	6.0	1.0	8.0	50	110	70 60	6%	9%	9%	9%	
	150 - 300	50/25	6.5	1.0	8.5	70	160	110 100	6%	8%	10%	10%	
Chile	< 300	30	2 - 3.0	0.0 - 0.5	3.0	25	180	25	3%	7%	9%	-	
		40	3.0	0.0 - 0.5	4.0	38	240	50					
Colombia		20	6.0	0.5	7.00	20	130	15					
		30	6.0	0.5	7.00	35	200	21	3%	6%	8%	10%	
		40	6.0	1.0	8.00	50	270	43					
Ecuador	< 100	20	4	1.20 (*)	5.2	20	-	20	6%	8%	12%	-	
	100 - 300	50	6	0.6	7.2	55	210	80	6%	8%	14%	-	
Bolivia	< 500	30	2.0 - 3.0	0.0 - 0.5(2)	3.0 - 4.0	25	180	25					
		40	3	0.0 - 0.5(2)	5	38	240	50	3%	7%	9%	-	
		50	3.0 - 3.5	0.0 - 1.0(2)	5.0 - 5.5	52	300	80					
Paraguay	< 500	30	2.0 - 3.0	0.5 - 1.0(2)	5.0 - 6.0	25	180	25	-	-	-	-	
		40	3	0.0 - 0.5(2)	7.0 - 8.0	38	240	50	-	-	-	-	
		50	3.0 - 3.5	-	8.0 - 9.0	52	300	80	6%	7%	9%	-	
Brasil	< 200	30	6.4	1.0	8.0	25	180	25	7%	11%	16%	-	
	200 - 600	40	6	1.2	8.8	38	240	50	7%	10%	16%	-	
		50	-	-	-	52	300	80					
Australia	< 200	30	3.5	1	5.5	-	-	45	6%	8%	10%	-	
		50				45	-	85	6%	7%	9%	-	

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se procede a realizar cuadros comparativos específicos primero en cuanto a la sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical. Finalmente, mediante tablas se muestra la propuesta en cuanto a los parámetros mencionados.

a) Sección Transversal

En cuanto a la Sección transversal para trochas carrozables con un IMDA menor a 200 veh/día, se propuso anchos de calzada (berma más carril) en la Tabla N°73, teniendo en cuenta el diseño que se toma en otras partes del mundo para este tipo de caminos. De este modo se pudo realizar una clasificación de los caminos de acuerdo al IMDA, y proponiendo un ancho para cada tipo, y a su vez con esta propuesta mejorar el tráfico en las trochas carrozables.

Se observa que en la Tabla antes mencionada propone valores para IMD de 0 - 20 veh/día con un ancho de 4.50m, para un IMD de 20- 50 veh/día y 50- 100 veh/día se propone un ancho de 5.50m, para un IMD de 100 – 200 veh/día un ancho de 7.00m incluidas las bermas.

Tabla N° 73: Comparación de sección transversal

IMD	Tipo de Superficie	Ancho	Berma	Total
100 - 200	Afirmado / Pavimen.	5.00	1.00	7.00
50 - 100	Afirmado	3.50	1.00	5.50
20 - 50	Tierra / Afirmado	3.50	1.00	5.50
0 - 20	Tierra / Afirmado	4.50	-	4.50

Fuente: Elaboración Propia

b) Alineamiento Horizontal

Se procede a mostrar los elementos que componen el Alineamiento Horizontal que en nuestro caso son: Radio Mínimo (m), Distancia de Parada (m) y Distancia de Adelantamiento (m), estos valores se compararon entre 8 diferentes manuales de otros países, haciendo la comparación con el Manual de Carreteras DG-2018 del Perú, seguidamente se procede a hacer una evaluación y proponer dichos parámetros de diseño geométrico mencionados para nuestra investigación.

Tabla N° 74: Comparación de radios mínimos

Manuales	Velocidad de Diseño			
	50	40	30	20
Etiopía	100	60	30	15
Chile	80	50	25	-
Colombia	79	43	21	15
Ecuador	80	45	30	20
Bolivia	80	50	25	-
Paraguay	80	50	25	-
Brasil	80	50	25	-
Australia	85	-	45	-
MTC -2018	100	60	35	-

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°74 se nos muestra los valores de radios mínimos que se extrajeron de los diferentes manuales y también se le incluyo el del MTC – 2018, tomaremos una velocidad de 30 km/h para poder hacer una comparación en este caso Etiopia, Ecuador y Australia tienen valores de 30 m de este modo podemos proponer los valores de radio mínimo en función a la velocidad de diseño y estos serían:

Tabla N° 75: Propuesta de radio mínimo

Velocidad de diseño (km/h)	Radio mínimo(m)
50	80
40	45
30	25
20	115

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°75 nos muestra los valores de radio mínimo que están en función a la velocidad de diseño, con el análisis mencionado anteriormente en la Tabla N°70 : Comparación de Radio Mínimos, se propone diferentes radios mínimos para los distintos casos de velocidades, mencionaremos el valor mínimo y máximo de la velocidad, $v = 20$ km/h se presenta un radio mínimo de 15m, para una velocidad de 30 km/h el radio sería 25m , y finalmente para la velocidad máxima para este tipo de camino $v = 50$ km/h se utilizará un radio de 70m.

Tabla N° 76: Comparación de distancia de parada

Manuales	Distancia de Parada (m)			
	Velocidad de Diseño			
	50	40	30	20
Etiopía	70	50	30	20
Chile	52	38	25	-
Colombia	65	50	35	20
Ecuador	55	40	30	20
Bolivia	52	38	25	-
Paraguay	52	38	25	-
Brasil	52	38	25	-
Australia	45	-	-	-
MTC -2018	65	50	35	20

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°76 nos señala el valor de la Distancia de Parada, en pendiente 0% evaluada en los diferentes manuales, se puede observar que para una velocidad de 30 km/h que tomaremos como velocidad de comparación; Etiopía, Ecuador nos muestran un valor de 30m , Chile, Bolivia ,Brasil y Paraguay designa un valor de 25m, finalmente Colombia y el MTC del Perú nos señala un valor de 35m, del mismo modo se procede a plantear valores que pueden ser utilizados en la distancia de parada para una trocha carrozable.

Tabla N° 77: Propuesta de distancia de parada

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de Parada(m)
50	60
40	45
30	35
20	20

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°77 señala la propuesta de Distancia de Parada (m) para diferentes velocidades que se utilizan en trochas carrozables, como se observa la propuesta está en función de las velocidades como: $v=20$ km/h la distancia de parada es de 20m, para una $v= 30$ km/h nos presenta 35m de distancia de parada, y para la

velocidad máxima en este caso 50 km/h, se propone una distancia de parada de 60m.

Tabla N° 78: Comparación de distancia de adelantamiento

Manuales	Velocidad de Diseño			
	50	40	30	20
Etiopía	160	110	75	-
Chile	300	240	180	-
Colombia	345	270	200	130
Ecuador	210	150	110	-
Bolivia	300	240	180	-
Paraguay	300	240	180	-
Brasil	300	240	180	-
Australia	-	-	-	-
MTC -2018	345	270	200	130

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°78 nos indica los valores a ser tomados en cuenta para poder hacer la propuesta en cuanto a la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento, Chile, Bolivia y Paraguay muestran un valor de 180m para una velocidad de 30km/h, Colombia y Perú tienen el valor máximo mencionado en la tabla que viene hacer 200m, Etiopía es que llega a tener una Distancia de Visibilidad de Adelantamiento de 75m; se procede hacer el análisis para la velocidad máxima a utilizarse en este tipo de caminos, en este caso $v=50\text{km/h}$ los países con una distancia de 300m son Chile, Bolivia, Paraguay, Colombia y Perú muestran un valor de 345m, mientras que Etiopía y Ecuador 160 m y 210 m respectivamente.

Tabla N° 79: Propuesta de distancia de adelantamiento

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de Adelantamiento(m)
50	320
40	250
30	180
20	130

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°79 se presenta los valores para Distancia de Visibilidad de Adelantamiento en metros los cuales fueron tomados en función a los manuales de

otros países que tienen información de trochas carrozables, caminos vecinales que tienen un IMD menor a 200 veh/día, para una velocidad de 20km/h nos muestra una distancia de adelantamiento de 130m, para una velocidad máxima de 50 km/h se propone una distancia de 320m.

c) Alineamiento Vertical

Del mismo se realizó la propuesta de Alineamiento Vertical, dentro de ello se comentó sobre uno de los componentes más importantes que viene hacer la pendiente máxima, que depende de la Topografía y Velocidad de diseño para de este modo poder obtener un valor correcto.

Tabla N° 80: Comparación de pendientes máximas

Manuales	Topografía del terreno			
	Plano	Ondulado	Montañoso	Escarpado
Etiopía	6	9	9	9
Chile	3	7	9	-
Colombia	3	6	8	10
Ecuador	6	8	14	-
Bolivia	3	7	9	-
Paraguay	6	7	9	-
Brasil	7	11	16	-
Australia	6	8	10	-
ASSTHO	9	12	17	-
MTC -2018	-	-	10	10

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°80 se expone los datos de pendiente máxima de los diferentes países en este caso en función a topografía del terreno, y son para terrenos planos donde la pendiente es 3% y la máxima 9%, para la topografía ondulada la pendiente es 6% y la máxima 12%, para una topografía montañosa nos brinda pendiente de 8% y máxima de 17%, para terreno escarpado el cual solo está establecido para países como Perú, Etiopía y Colombia se tienen pendientes de 9% y 10% como máximo.

Tabla N° 81: Propuesta de pendiente máxima

Topografía	Pendiente máxima (%)
Plano	6
Ondulado	15
Montañoso	17

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°81 muestra la propuesta de la pendiente máxima, en función a la topografía plana 6%, ondulada 15% y montañosa 17%. Estos valores fueron tomados en cuenta según los diferentes manuales incluidos AASTHO 2011.

CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Propuesta de Diseño Geométrico

En base a la investigación bibliográfica, comenzando por Perú, luego algunos países como:

- Chile
- Bolivia
- Brasil
- Colombia
- Ecuador
- Paraguay
- Australia.
- Etiopía
- EE.UU.

Concluimos que la definición de caminos con IMD menor de 200 veh/día, la sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical debe cumplir con los parámetros básicos de diseño, de seguridad y economía, es decir por seguridad debemos tener una geometría en función de la topografía, IMD, velocidad de diseño y por economía debemos ejecutar las obras concordantes con el ciclo de vida, es decir los costos de construcción y mantenimiento, concordantes con los costos de operación vehicular que permitan un acceso y movilidad de toda estación.

En el caso específico del Perú, la norma dice que las carreteras con IMD menor a 200 veh/día son consideradas trochas, es decir no se rigen por la normativa de la DG-2018, existiendo un vacío en la norma, y por lo tanto se deja al criterio del ingeniero proyectista, para lo cual proponemos los valores mencionados en la propuesta de Diseño Geométrico (Arévalo, 2013).

Como consecuencia de la revisión de Manuales se logró hacer una propuesta de parámetros de diseño geométrico tocando puntos como la sección transversal los cuales incluyen la calzada y berma, Alineamiento horizontal (radio mínimo, distancia de parada y distancia de adelantamiento) y alineamiento vertical (pendiente), la tabla que será mostrada a continuación nos enseña un resumen del análisis y la propuesta.

Tabla N° 82: Propuesta de diseño geométrico

Manuales	IMD (veh/día)	Sección Transversal Ancho de Calzada	Velocidades (km/h)	Alineamiento Horizontal			Alineamiento Vertical		
				Radio Mínimo	Dist. Parada	Dist. Adelantamiento	Plano	Ondulada	Montañosa
MTC -2018	< 200 veh/día	4.50 m - 6.00 m	30-60 km/h	35 m	35 m	200 m	-	-	10%
Etiopía	0-50 veh/día	3.00 m - 4.50 m	20-50 km/h	30 m	30 m	75 m	6%	9%	9%
Chile	0-50 veh/día	5.00 m	30-50 km/h	25 m	25 m	180 m	3%	7%	9%
Colombia	100- 200 veh/día	7.00 m	20-50 km/h	21 m	35 m	200 m	3%	6%	8%
Ecuador	50 – 100 veh/día	5.20 m	20-50 km/h	30 m	30 m	110 m	6%	8%	14%
Bolivia	50 - 100 veh/día	5.00 m	30-50km/h	25 m	25 m	180 m	3%	7%	9%
Paraguay	100 – 200 veh/día	8.40 m	50 km/h	25 m	25 m	180 m	6%	7%	9%
Brasil	100 – 200 veh/día	8.00 m	30–50 km/h	25 m	25 m	180 m	7%	11%	16%
Australia	0 – 50 veh/día	5.50 m	30-50 km/h	45 m	-	-	6%	8%	10%
AASTHO	0 – 50 veh/día	5.40 m	20-50 km/h				9%	12%	17%
	0 - 50 veh/día	4.50 m	20-50 km/h	15 m	25 m	100 m	6%	15%	17%
PROPUESTA	50 - 100 veh/día	5.50 m	20-50 km/h	25 m	30 m	160 m	6%	12%	15%
	100 - 200 veh/día	6.50 m	20-50 km/h	40 m	35 m	200 m	6%	10%	12%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 82 se muestra el análisis que se realizó en los diferentes manuales en cuanto a la sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical, de este modo se pudo realizar la propuesta analizando los estándares propuestos para diferentes países, también teniendo en cuenta AASTHO 2011, que es la norma que se toma en cuenta para poder proponer estándares en todos los países.

La propuesta se hizo para 3 IMD, estos son de 0 -50 veh/día se recomienda un carril, con un ancho de 4.50m, un radio de 15 m y pendientes de 17% .Para un IMD de 50 – 100 veh/día, un carril de ancho de 5.50m con una pendiente de 15%, IMD de 100 – 200 veh/día carril de 6.50m con una pendiente de 12%.

La zona pertenece a la zona 18 S del sistema Geodésico Mundial WGS-84, geográficamente se encuentra en la región de la Sierra.

- Longitud de la vía (Tramo 01): Km. 00+000 – Km. 05+860.

5.2.3. Características de la zona

El clima en esta región es cálida y templada. Los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos en Apurímac. El clima aquí se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger. En Apurímac, la temperatura media anual es de 10.1 ° C.

5.2.4. Diseño Geométrico

En cuanto al diseño geométrico se procede a mostrar una tabla comparativa:

Tabla N° 83: Comparación de diseño en distintas normas

	MPCNPBVT - 2005	DG - 2018	Realidad
	IMD < 50 veh/día	IMD < 200 veh/día	IMD = 97 veh/día
Sección Transversal	1 carril(*) o 2 carriles: 3.50 - 6.00 m	Ancho mínimo de 4.00 m	Ancho de 4.00m
	Bermas: Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m	Bermas: se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.	Bermas: Plazoletas de cruce que están aproximadamente cada 500 m.
Alineamiento Horizontal	Radio : 35 m	Radio : 35 m	Radio excepcionales : 8.00m hasta 30.00m
Alineamiento Vertical	Pendiente: 10%	Pendiente: 10%	Pendiente: 6%

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°83 nos muestra el diseño geométrico en cuanto a sección transversal (carril y berma), alineamiento horizontal (radio mínimo) y alineamiento vertical (pendiente máxima) para lo cual se realizó la comparación de los datos que se obtuvieron en campo, con la Norma MDCNPBVT-2005 que predominaba en el año de construcción de dicha carretera y con la norma actual (DG-2018).

De la comparación de la sección transversal para la realidad se muestra un ancho de 4.00m, para el Manual MDCNPBVT-2005 un ancho de 3.50-6.00m para un IMD menor a 50veh/día; mientras que para la DG-2018 recomienda un ancho mínimo de 4.00m para un IMD menor a 200 veh/día. Se puede observar que el ancho de la realidad no está de acuerdo a la normativa vigente del año de construcción, ya que para un IMD de 97 veh/día, se necesitaría un ancho mayor a 4.00m.

En cuanto al alineamiento horizontal se observa que la realidad muestra un radio de 30m como mínimo excepcional, mientras que las otras normas MDCNPBVT-2005 y DG-2018 un radio de 35m, por lo tanto, tampoco cumple con ninguna de las normas.

Y Finalmente en el alineamiento vertical se observa una pendiente de 6% y las normas nos dan una de 10%, por lo tanto, tampoco en este aspecto se rige a las normas de construcción ni a la actual.

A continuación, ilustramos el capítulo con fotos del Tramo 01:



Figura N° 22: Vista con el GPS – Tramo 01

Fuente: Elaboración Propia

La figura N°22 muestra el Km 0+000 del tramo 1 en la vía que conduce del C.P Huayllati a Progreso, en la parte alta de una colina

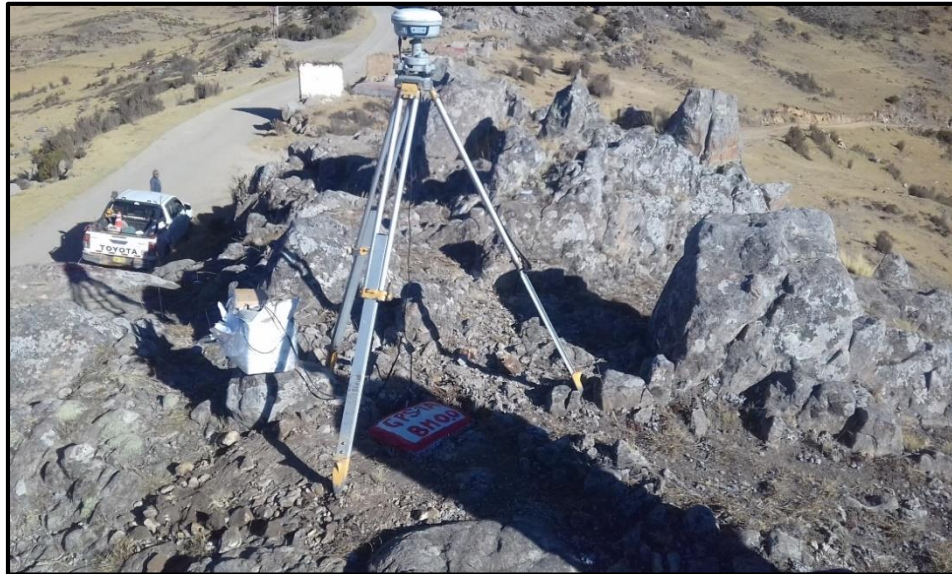


Figura N° 23: Vista desde un punto -Tramo 1
Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 23 se observa que el GPS está ubicado a 4 m del borde Derecho la vía que conduce del C.P Huayllati a Progreso. Del inicio del tramo 1 de la vía que conduce hacia el C.P Yanarico, sobre una colina.



Figura N° 24: Vista de Horizontal – Tramo
Fuente: Elaboración Propia

La figura N° 24 se aprecia el eje de vía por donde se tomaron los datos para nuestra investigación.

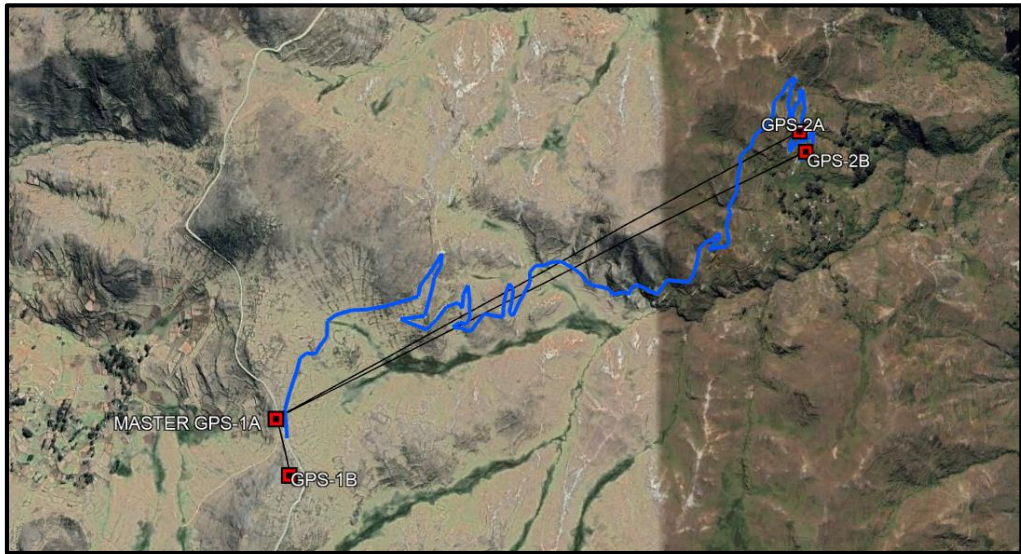


Figura N° 25: Vista de Planta – Tramo 01
Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 25 se nos muestra una ortofoto donde se aprecia el tramo de trabajo, fue obtenida mediante un GPS.

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Resultados de la investigación

Se tomó como muestra el Tramo Ruta AP -112 – Apurímac Km. 00+000 – Km. 05+860 en el cual se recorrió 6 km con un GPS y dron, el cual nos proporcionó datos del diseño geométrico, según el estudio de tráfico se obtuvo un IMD de 97 veh/día que transitan por la carretera, con estos datos e instrumentos se pudo conseguir los datos necesarios en cuanto al diseño geométrico de una carretera tales como sección transversal (ancho de carril), alineamiento horizontal (radio mínimos) y alineamiento vertical (pendientes), que serán expuestos a detalles a continuación:

a) Sección Transversal:

En este punto se obtuvo el ancho total de la calzada que fue 4.00 m y la berma es considerada con plazoletas de cruce cada 500m. Ver figura N°26.

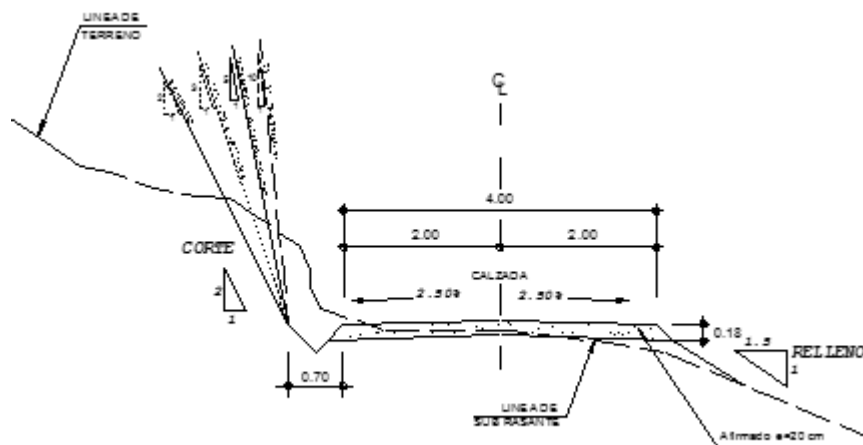


Figura N° 26: Sección Transversal en campo
Fuente: Elaboración Propia

b) Alineamiento Horizontal:

Dentro de los componentes de esta variable se encuentra el Radio Mínimo de Curvatura, se exportaron los radios del Programa AutoCAD Civil, los cuales se fueron 32 curvas cada una mostrando un valor diferente de Radio, esto se comparará con los radios dados con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2018 para ver si cumplían con la norma y del mismo modo se compararon con la propuesta mencionada en el capítulo anterior.

Tabla N° 84: Radios mínimos

Curva	Radio (m)	MTC - 2018	Propuesta
		V= 30 km/h, R= 35m	V= 30 km/h, R= 25m
C1	80	Cumple	Cumple
C2	180	Cumple	Cumple
C3	150	Cumple	Cumple
C4	50	Cumple	Cumple
C5	35	Cumple	Cumple
C6	60	Cumple	Cumple
C7	120	Cumple	Cumple
C8	30	Cumple	Cumple
C9	10	No Cumple	No Cumple
C10	130	Cumple	Cumple
C11	100	Cumple	Cumple
C12	168	Cumple	Cumple
C13	15	Cumple	Cumple
C14	25	Cumple	Cumple
C15	96	Cumple	Cumple
C16	11	No Cumple	No Cumple
C17	250	Cumple	Cumple
C18	58	Cumple	Cumple
C19	16	Cumple	Cumple
C20	21	Cumple	Cumple
C21	44	Cumple	Cumple
C22	33	Cumple	Cumple
C23	41	Cumple	Cumple
C24	28	Cumple	Cumple
C25	20	Cumple	Cumple
C26	22	Cumple	Cumple
C27	57	Cumple	Cumple
C28	18	Cumple	Cumple
C29	17	Cumple	Cumple
C30	54	Cumple	Cumple
C31	95	Cumple	Cumple
C32	23	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°84 se consigue hacer la comparación de los Radios que se obtuvieron en campo, la velocidad utilizada en campo fue de 30 km/h, con lo cual se comparó a los valores dados por el MTC – 2018 y la propuesta brindada de velocidad, es 25m; los cuales se puede ver que la mayoría de ellos cumple.

c) Alineamiento Vertical:

Los datos obtenidos en campo son los siguientes, se obtuvieron 34 valores, los cuales serán comparados del mismo modo que los radios mínimos anteriores.

Tabla N° 85: Valores de pendientes - Apurímac

No.	Progresiva	Elevación	Pendiente	MTC -2018		Propuesta
				Accidentado = 10%	Accidentado = 17%	
1	0+000.00m	4006.697m				Cumple
2	0+099.49m	3999.428m	7.31%	10%	Cumple	
3	0+336.17m	3985.562m	5.86%	10%	Cumple	
4	0+687.92m	3961.633m	6.80%	10%	Cumple	
5	0+797.28m	3961.316m	0.29%	mayor a 0.5%	No Cumple	
6	0+874.61m	3958.455m	3.70%	10%	Cumple	
7	1+054.74m	3951.828m	3.68%	10%	Cumple	
8	1+217.88m	3946.822m	3.07%	10%	Cumple	
9	1+573.04m	3938.930m	2.22%	10%	Cumple	
10	1+808.11m	3921.130m	7.57%	10%	Cumple	
11	2+043.64m	3904.884m	6.90%	10%	Cumple	
12	2+273.57m	3895.561m	4.05%	10%	Cumple	
13	2+473.92m	3883.467m	6.04%	10%	Cumple	
14	2+607.61m	3875.154m	6.22%	10%	Cumple	
15	2+807.02m	3863.910m	5.64%	10%	Cumple	
16	3+044.41m	3853.068m	4.57%	10%	Cumple	
17	3+252.16m	3841.070m	5.78%	10%	Cumple	
18	3+423.98m	3829.394m	6.80%	10%	Cumple	
19	3+563.47m	3825.997m	2.44%	10%	Cumple	
20	3+658.63m	3825.538m	0.48%	mayor a 0.5%	No Cumple	
21	3+762.30m	3816.947m	8.29%	10%	Cumple	
22	3+913.99m	3815.814m	0.75%	10%	Cumple	
23	4+068.65m	3811.541m	2.76%	10%	Cumple	
24	4+242.59m	3799.959m	6.66%	10%	Cumple	
25	4+556.93m	3781.286m	5.94%	10%	Cumple	
26	4+708.29m	3783.419m	1.41%	10%	Cumple	
27	4+826.53m	3779.172m	3.59%	10%	Cumple	
28	4+951.65m	3779.535m	0.29%	mayor a 0.5%	No Cumple	
29	5+157.10m	3761.759m	8.65%	10%	Cumple	
30	5+377.67m	3739.049m	10.30%	10%	Cumple	
31	5+724.56m	3714.370m	7.11%	10%	Cumple	
32	5+926.71m	3692.449m	10.84%	10%	Cumple	
33	6+081.66m	3679.449m	8.39%	10%	Cumple	
34	6+254.71m	3663.827m	9.03%	10%	Cumple	

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°85 nos muestra la comparación de la pendiente en campo con las pendientes que da la norma DG-2018 que son: pendiente mínima mayor a 0.5% y pendiente máxima 10%, en cuanto a la propuesta hecha en la investigación se tienen pendientes de 15% y 17% como pendiente máxima excepcional.

También para un mejor panorama en cuanto a la evaluación de las pendientes, se tomó como datos un tramo de la Carretera Canta, información brindada por el grupo de TITES, conformado por Balbín Santiago y Baldeón Diego, que tienen como tema: “Propuesta de Diseño Geométrico en Perfil para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito de la Provincia de Canta” ya que las pendientes obtenidas en campo de dicho grupo nos permiten hacer la comparación con mayor claridad.

Información de la ruta:

- La ruta tiene una distancia longitud de 38.42 km que comienza desde la salida a la carretera Lachaqui (ver figura N°21) hasta el parque de Quives (ver figura N°22), pasando por los distritos de Pariamarca, Carhua, Lachaqui, Arahua, Collo, Licahuasi y Quives.

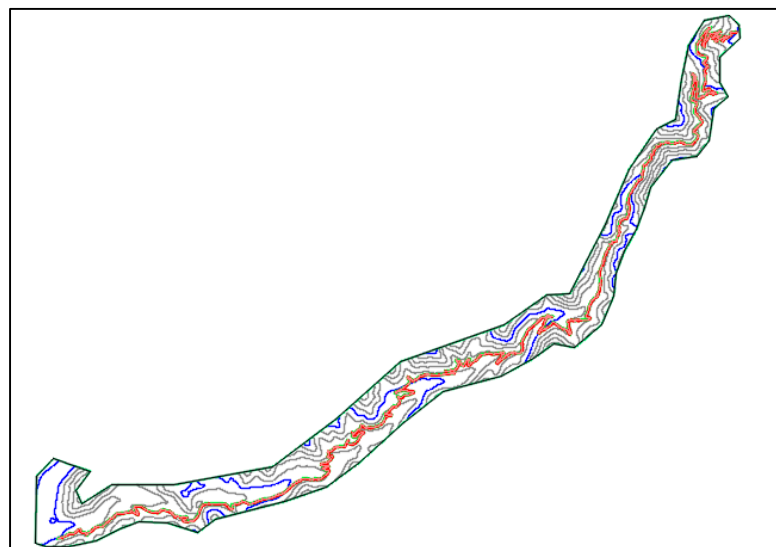


Figura N° 27: San Buenaventura a Tambo de 5.31 km

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°27 se muestran las pendientes para el tramo mencionado con la ayuda del programa Autodesk Civil 3D.

Tabla N° 86: Valores de pendiente- Canta

Tramo	Progresiva (m)	Elevación (m)	Distancia (m)	Pendiente	Manual de 1978	Norma DG-2018	Propuesta	
					12%	Accidentado 10%	Accidentado 17%	
0	0+000.000	3604.183						
1	0+387.960	3582.962	387.96	5.47%	Cumple	Cumple	Cumple	
2	0+722.790	3552.536	334.83	9.09%	Cumple	Cumple	Cumple	
3	0+844.470	3548.041	121.68	3.69%	Cumple	Cumple	Cumple	
4	1+312.710	3502.89	468.24	9.64%	Cumple	Cumple	Cumple	
5	1+539.540	3489.325	226.83	5.98%	Cumple	Cumple	Cumple	
6	2+072.790	3443.116	533.25	8.67%	Cumple	Cumple	Cumple	
7	2+186.860	3427.313	114.07	13.85%	No cumple	No cumple	Cumple	
8	2+394.190	3418.324	207.33	4.34%	Cumple	Cumple	Cumple	
9	2+595.120	3398.047	200.93	10.09%	Cumple	No cumple	Cumple	
10	2+661.620	3396.928	66.5	1.68%	Cumple	Cumple	Cumple	
11	2+819.580	3372.136	157.96	15.70%	No cumple	No cumple	No cumple	
12	3+082.370	3357.045	262.79	5.74%	Cumple	Cumple	Cumple	
13	3+121.020	3347.791	38.65	23.94%	No cumple	No cumple	Cumple	
14	3+149.770	3345.391	28.75	8.35%	Cumple	Cumple	Cumple	
15	3+240.050	3336.157	90.28	10.23%	Cumple	No cumple	Cumple	
16	3+402.240	3316.857	162.19	11.90%	Cumple	No cumple	Cumple	
17	3+449.500	3310.084	47.26	14.33%	No cumple	No cumple	Cumple	
18	3+567.130	3300.545	117.63	8.11%	Cumple	Cumple	Cumple	
19	3+847.180	3285.21	280.05	5.48%	Cumple	Cumple	Cumple	
20	3+902.950	3277.36	55.77	14.08%	No cumple	No cumple	Cumple	
21	4+157.180	3262.574	254.23	5.82%	Cumple	Cumple	Cumple	
22	4+442.550	3232.25	285.37	10.63%	Cumple	No cumple	Cumple	
23	4+543.190	3226.168	100.64	6.04%	Cumple	Cumple	Cumple	
24	4+690.970	3210.305	147.78	10.73%	Cumple	No cumple	Cumple	
25	4+744.400	3209.41	53.43	1.68%	Cumple	Cumple	Cumple	
					Cumple	80%	60%	96%
					No cumple	20%	40%	4%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°86, que presenta los valores de pendientes se hace la comparación con respecto al manual de 1978 que es el año en que se construyó la carretera, la DG-20118 y la propuesta. Para la DG-2018 pendiente mínima 0.5% y pendiente máxima 10%, indica que los tramos 7, 9, 11, 13, muestran valores 13.85%,10.09% 15.70% y 23.94%

respectivamente son superiores al propuesto en la norma por lo tanto no cumplen tal como figura en el cuadro.

Para el Manual de 1978 nos clasifica la pendiente teniendo en cuenta la seguridad y la capacidad de ascenso de los vehículos, para nuestro caso canta tiene una altura de 2.837 msnm es decir por debajo de los 3.000 msnm y nos recomienda utilizar una pendiente de 12%, para ellos cumple un 80% de los datos de campo.

En cuanto a la propuesta donde la pendiente es 17%, los valores de los tramos cumplen a excepción del tramo 13 que tiene una pendiente de 23.94%.

6.2. Análisis e interpretación de los resultados

Los datos obtenidos en campo en cuanto al diseño geométrico se compararon con la DG -2018 y la propuesta que se hizo, obteniendo de este modo como resultado que las carreteras diseñadas en el Perú para un IMD menor a 200 veh/día, está bajo la filosofía del MDCNPBVT que es para un IMD menor a 400 veh/día y el DG-2018 menor a 200 veh/día.

Se interpretarán los resultados en el siguiente orden:

a) Sección Transversal:

La sección transversal registrada por el Manual del MTC es de 7.00m, la cual según norma es para carreteras de 3era clase, la que se obtuvo en campo fue de 4.00m, la propuesta que se hizo fue de 6.50m para IMD de 100-200 veh/día, ya que se proyectará la carretera para unos 10 años.

Tabla N° 87: Comparativa de ancho de calzada

	Carril (m)	Berma (m)	Total	Según Propuesta	IMD
MTC -2018	6.00m	0.50m	7.00 m		50-100 veh/día
Campo	4.00 m	-	4.00 m	50 -100 veh/día	97 veh/día
Propuesta	5.50m	0.50m	6.50 m		100-200 veh/día

Fuente: Elaboración Propia

Los valores registrados en la Tabla N° 87 son la comparación de ancho de calzadas obtenida en campo, la actual norma vigente DG-2018 y la propuesta dada.

Se observa que el valor que se obtuvo en campo es de 4.00m el cual tiene un IMD=97 veh/día, lo que significa que el IMD de la construcción a la fecha es menor a 50 veh/día,

según el Manual MDCNPBVT-2005 y muestra un ancho de 3.50m – 6.00m. Lo ideal es proyectarlo para un IMD menor a 200 veh/día.

La sección transversal propuesta es de 6.00 -6.50m, con este valor se mejora el tráfico en estos caminos, ya que transitarían como máximo 200 veh/día y al mejorar la sección transversal generaría un tránsito fluido y sería económicamente rentable.

b) Alineamiento Horizontal

Tabla N° 88: Comparativo de radios mínimos

	Radios mínimos en relación a la Velocidad			
	20 km/h	30 km/h	40 km/ h	50 km/h
MTC- 2018	-	35 m	60 m	100 m
Propuesta	15 m	25 m	45 m	80 m
Campo	11 m	23 m	80 m	120 m

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°88 se muestra los valores a compararse en cuanto al radio mínimo se observa que los valores obtenidos para la V=30 km/h son: en campo 23m, MTC-2018 da 35m y la propuesta de 25m

En función a la velocidad de diseño se determina el radio mínimo y nos enseña valores de distancia de adelantamiento, parada con los cuales mejora la seguridad y comodidad en la vía por la cual van a transitar los vehículos a través del análisis de estándares de otros países.

c) Alineamiento Vertical

Tabla N° 89: Comparativo de pendiente máxima

	Pendientes máximas	Topografía
MTC- 2018	10.00%	Montañosa
Propuesta	17.00%	Montañosa
Campo	23.94%	Montañosa

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°89 se observa el valor mencionado por el MTC- 2018 que nos plantea que la pendiente máxima a utilizar es de 10%, y el valor propuesto en la investigación es de 17%, pero el valor de pendiente obtenida en campo es de 23.9% el cuál excede el valor extraído del MTC y también el valor que se hizo en la propuesta. Pero se comprobó que

la carretera funciona con esa pendiente ya que son datos reales de campo, por lo tanto, nuestro valor propuesto funciona también.

Las pendientes mencionadas como se muestra son de topografía montañosa es decir que requiere de grandes movimientos de tierra, por lo cual presenta dificultad en el trazado.

6.3. Contratación de Hipótesis

Al haber desarrollado el análisis de estándares de diseño geométrico de otros países, en cuando a sección transversal, alineamiento horizontal y alineamiento vertical en trochas carrozables con IMD menor a 200 veh/día, se pudo realizar una propuesta de parámetros para este tipo de caminos y estas a su vez se compararon con los datos obtenidos en campo para poder evaluar el diseño, se presenta la comprobación de las hipótesis planteadas.

6.3.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis Alterna (H1): “El diseño de la sección transversal mejora el tráfico en las trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países”.

Hipótesis Nula (Ho): “El diseño de la sección transversal no mejora el tráfico en las trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países”

Podemos observar que el cuadro N°87 que para una sección de 4.00m corresponde un IMD de 0-50 veh/día y mejorando la sección según la propuesta seria de 5.50m que le corresponde un IMD de 50-100 veh/día, que es el IMD actual de la carretera que se estudió. Por lo tanto, se cumple la Hipótesis H1.

Silva Díaz (2019), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar los parámetros geométricos de acuerdo al DCNP Bajo Volumen de Tránsito, del camino vecinal Santa Rosa- Chaupelanche que finalmente propone una sección de 4.50m para un IMD de 28veh/día, el cual confirma nuestra hipótesis específica H1.

Carrera Rodríguez (2017), en su trabajo realizo el diseño geométrico de la carretera del tramo Oromalqui- Pueblo Nuevo- Parque Alto- Alan Gabriel, distrito de Julcán para mejorar la calidad de vida de la población, empleando el Manual de

Diseño de Carreteras DG-2014, propone una sección de 7.00m para un IMD de 100-200veh/día, el cual cumple con nuestra hipótesis H1.

Por lo tanto, se valida la Hipótesis específica H1 y se descarta la Hipótesis Ho.

6.3.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis Alterna (H1): “La velocidad de diseño determina el alineamiento horizontal y mejora la seguridad, a través del análisis de estándares de otros países”.

Hipótesis Nula (Ho): “La velocidad de diseño determina el alineamiento horizontal y no mejora la seguridad, a través del análisis de estándares de otros países”.

La Tabla N°88 la propuesta hecha para una velocidad de 30km/h el valor de radio mínimo es de 25m y evaluando con la información obtenida en campo la mayoría de los radios cumple con la propuesta y la normativa generando así parámetros seguros para el usuario.

Cueva Rodríguez (2018), evaluó las características geométricas de la carretera Paccha-Inglesia Pampa- Centro Poblado Laurel Pampa con los parámetros de la norma DG-2013, tuvo como resultados que los radios mínimos de 30m los cuales en un porcentaje de 63% cumplen con los parámetros de la norma DG-2013, por incidencia se determina que son parámetros seguros, el cual cumple con nuestra Hipótesis H1.

Cáceres Castro (2019), en su tesis tiene como propósito evaluar la seguridad de la carretera Santa Cruz- Quío-El Sauce- Mitopampa a través del correcto diseño de sus parámetros de diseño geométrico de acuerdo al Manual de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito 2008, se hizo el análisis de radio de curvatura mínimo dando como resultados radio como :R= 35m a una velocidad de 20 km/h, para el cual en porcentaje el 85.6% tiene parámetros seguros de este modo cumple con nuestra hipótesis específica H1.

En consecuencia, se valida la Hipótesis H1 y se descarta la hipótesis Ho.

6.3.3. Hipótesis específica 3

Hipótesis Alterna (H1): “El alineamiento Vertical depende de la topografía del terreno, a través del análisis de estándares de otros países”.

Hipótesis Nula (Ho): “El alineamiento Vertical no depende de la topografía del terreno, a través del análisis de estándares de otros países”.

Por consecuencia se verifica en la Tabla N°89 los valores que se registraron en campo la pendiente máxima fue 23.94% en una topografía montañosa, en la DG - 2018 menciona 10% de pendiente y la propuesta considera una pendiente de 17%, la pendiente de campo no cumple con la propuesta ni con la normativa; por lo tanto, se puede concluir que en las carreteras del Perú hay un porcentaje de 40% que no cumple y otro 60% que cumple. Por lo tanto, en la Propuesta se verifica que el 96% de las pendientes cumple con el parámetro propuesto.

Cueva Rodríguez (2018), hizo una evaluación de las características del diseño geométrico de la carretera Paccha-Iglesia Pampa-Centro Poblado Laurel Pampa, de acuerdo a la normativa DG-2013, y concluye que las pendientes están en función de la topografía y un 54% cumple los parámetros de seguridad y el 46% no cumple, de esta manera se comprueba la H1.

Carrera Rodríguez (2017), su objetivo fue mejorar el diseño de la carretera del tramo Oromalqui-Pueblo Nuevo-Paruque Alto- Alan Gabriel, se hizo una evaluación donde la pendiente no cumple con la norma DG-2014 y no está en relación a la topografía. Una vez hecho el mejoramiento resulta una topografía accidentada, con pendientes de 3% a 10%, el cual para el diseño se consideró una pendiente máxima de 9.8% con la norma DG-2014, esto corrobora que la hipótesis H1 cumple.

Por consiguiente, se valida la hipótesis H1 y se rechaza la Ho.

CONCLUSIONES

1) Se efectuó el análisis de los manuales tales como:

- Diseño de Caminos de Bajo Volumen- Etiopía
- Manual de Carreteras- Chile
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras-Colombia
- Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 -Ecuador
- Manual de Diseño Geométrico de Bolivia
- Manual de Carreteras de Paraguay
- Manual Básico de Caminos y Vías Vecinales- Brasil
- Diseño de Carreteras - Australia
- ASSTHO 2011- EE.UU.
- Manual DG-2018 -Perú

En cuanto a las variables de Sección Transversal (carril y berma), Alineamiento Horizontal (Radio mínimo) y Alineamiento Vertical (pendiente) demostrando que es posible proponer una norma de estandarización de diseño geométrico para trochas carrozables con un IMD menor a 200 veh/día, teniendo como resultado final la Tabla N°90 e incluir esta propuesta como guía en las normas del MTC-2018 ya que para este tipo de vías no especifica criterio de diseño.

Tabla N° 90: Propuesta Final

		Propuesta Final			
		IMD (veh/día)	0-50	50-100	100-200
		Velocidades	20 km/h	30 km/h	40 km/h
Sección Transversal	Ancho de calzada (carril y berma)		4.50 m	5.50 m	6.50 m
	Radio Mínimo		15 m	25 m	45 m
Alineamiento Horizontal	Dist. Parada		25 m	30 m	35 m
	Dist. Adelantamiento		100 m	160 m	200 m
Alineamiento Vertical	Plano		6%	6%	6%
	Ondulada		15%	12%	10%
	Montañosa		17%	15%	12%

Fuente: Elaboración Propia

- 2) Se realizó el análisis de manuales de otros países, para así poder estudiar la sección transversal es decir el ancho de calzada (carril y berma) verificando que dicho estudio mejora el tráfico en los caminos vecinales. En la Tabla N° 91 se muestra los anchos de calzada recomendados para los volúmenes de IMD de una trocha carrozable.

Tabla N° 91: Propuesta de Sección Transversal

IMD (veh/día)	Sección Transversal		
	Carril(m)	Berma(m)	Total
0 - 50	3.50 m	0.0 - 0.50 m	4.50 m
50 - 100	4.50 m	0.0 - 0.50 m	5.50 m
100 - 200	5.50 m	0.0 - 0.50 m	6.50 m

Fuente: Elaboración Propia

- 3) Se llevó a cabo un análisis de los manuales de otros países mencionados anteriormente, para poder analizar el comportamiento del alineamiento horizontal mostrando que dicho análisis mejora la seguridad vial en las trochas carrozables. En la Tabla N°92 se observa en función de la velocidad el radio mínimo, distancia de parada y adelantamiento con valores que fueron analizados y clasificados como parámetros seguros para los conductores.

Tabla N° 92: Propuesta de Alineamiento Horizontal

Velocidades (km/h)	Alineamiento Horizontal		
	Radio Mínimo	Dist. Parada	Dist. Adelantamiento
20	15 m	25 m	100 m
30	25 m	30 m	160 m
40	30 m	35 m	200 m

Fuente: Elaboración Propia

- 4) Con el análisis de estándares de los diferentes manuales, se propone el Alineamiento Vertical demostrando que las pendientes están en función a la topografía del terreno, que tiene relación con el movimiento de tierras y el trazado. La Tabla N°93 nos muestra que para una topografía plana el valor de la pendiente máxima es 6%, para ondulada nos muestra un valor máximo de 15% y para una topografía montañosa un valor de 17%, en base al manual de AASTHO.

Tabla N° 93: Propuesta de Pendiente

IMD (veh/día)	Alineamiento Vertical		
	Plano	Ondulada	Montañosa
0 - 50	6%	15%	17%
50 - 100	6%	12%	15%
100 - 200	6%	10%	12%

Fuente: Elaboración Propia

- 5) Los valores de las pendientes que se recolectaron en campo nos dieron una pendiente mínima de 0.25% que no cumple con norma DG -2018 y una pendiente máxima de 23.94% que no cumple con la normativa vigente del MTC y con la propuesta realizada de pendiente de 17%, sin embargo, por esa pendiente los vehículos transitan desde hace años; lo que valida nuestra propuesta de 17%.

- 6) De acuerdo a la Tabla N°12: Infraestructura vial del sistema nacional al año 2018, nos indica que las carreteras sin pavimentar son 141557.1 km que conforman el 84.02% del total de carreteras (pavimentadas y no pavimentadas), por lo tanto se puede afirmar que una elevada proporción de nuestros caminos fueron diseñadas con el manual de bajo volumen de 1978, 1998,2004 y el manual de diseño geométrico de carreteras no pavimentada de bajo volumen de tránsito (MDGCNPBVT) 2008 y a partir del 2014 (DG-2014) deja sin efecto las normas anteriores dejando un vacío, por lo tanto existe la necesidad de proponer una guía de diseño geométrico.

- 7) Las normas de Chile, Bolivia y Paraguay son iguales.

RECOMENDACIONES

- 1) Es adecuado recomendar pautas para la recolección de datos para tener una mejor representación de la realidad:
 - Se recomienda que al utilizar el GPS sub-métrico es conveniente configurar el track, la toma de datos el cual debe ser cada 2m para vías mayores a 5 kilómetros para transitar a una velocidad de 30 km/h máximo, y así obtener una mejor toma de datos
- 2) Continuar la revisión bibliográfica de otros países para poder hacer una guía específica para las regiones del Perú como, por ejemplo: India (Sierra), Sudáfrica (Selva) y África (Costa).
- 3) Sugerir al MTC estos parámetros propuestos en la investigación.
- 4) Proponer mediante tablas un IMD en rangos para trochas carrozables, no solo que sea generalizado para menor a 200 veh/día.
- 5) Continuar con la investigación aplicando parámetros en otras rutas existentes del Perú para diferentes velocidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI, D. D. (2016).

http://www.academia.edu/19636430/DISENO_DE_MEZCLAS_CONCRETO_MTODO_ACI. Obtenido de <http://www.academia.edu/>.

Arévalo, V. (2013). *Estándares de Diseño Geométrico para Caminos Rurales con IMD menor 200 veh/día - Caso Perú*. [Paper]. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Arguelles, R. (2013). *Revisión de criterios para el diseño geométrico de carreteras en Costa Rica*. (Proyecto final de graduación). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

C31/C31M, A. (s.f.). *Historical Standard: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*.

Cáceres, J. (2019). *Evaluación de la Seguridad de la Carretera no Pavimentada de Bajo Volumen de Tránsito Santa Cruz - Quio-El Sauce-Mitopampa (12+545 km.) en función a sus parámetros de diseño*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Cárdenas, J. (2015). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia: Macro.

Carrera, J. (2017). *Diseño de la Carretera del Tramo Oromalqui - Pueblo Nuevo - Paruque Alto -Alan Gabriel, Distrito de Julcán, provincia de Julcán, departamento La Libertad*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Trujillo.

Céspedes, J. (2001). *Carreteras Diseño Moderno*. Cajamarca: Macro.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.

Cueva, O. (2018). *Evaluación de la Características Geométricas de la Carretera Paccha Iglesia Pampa Centro Poblado Laurel Pampa km 00.0+00-km 05.5+00 de acuerdo con las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras DG 2013*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sanchez, V. & Del Val, M. (2003). *Ingeniería de Carreteras: Volumen I*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito 2008*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (1978). *Normas para el Diseño de Caminos Vecinales*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2001). *Diseño Geométrico (DG-2001)*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *Manual para el Diseño de Caminos no pavimentados de Bajo Volumen de tránsito*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carretera: Diseño Geométrico DG-2013*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carretera: Diseño Geométrico DG-2014*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Lima.
- T.A.M.S. – ASTEC. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras-2003*. Ecuador.
- Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). *Manual de Carreteras: Volumen I*. Bolivia.
- Ministerio de Obras Públicas Chile. (2018). *Manual de Carreteras: Volumen N° 3*. Chile.
- Ministerio de Transporte-Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia.
- Departamento de Carreteras de Estado de Sao Paulo. (2012). *Manual Básico de Carreteras y Carreteras Secundarias: Volumen I*. Brasil.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2019). *Manual de Carreteras del Paraguay: Unidad 3*. Paraguay.
- Autoridad de Caminos de Etiopía. (2016). *Manual para Carreteras de Bajo Volumen*. Etiopía.
- AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets: 6th Edition*. Washington- EE.UU.

- Douglas, R. (2017). *Low-Volume Road Engineering: Design, Construction, and Maintenance*. Australia: CRC Press.
- Silva, F. (2019). *Evaluación de la Geometría Vial del Camino Vecinal Santa Rosa-Chaupelanche de acuerdo a las normas DG-2013. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

ANEXO N°01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo N°01: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
Norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables para modificar la norma del MTC a través del análisis de estándares de otros países.									
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA			
Problema general	Objetivo General	Hipotesis General	X: Variable Independiente	D1: X	I1: X	Tipología y Nivel	Nivel		
¿De qué manera la propuesta de una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países puede modificar la norma del MTC?	Proponer una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables , a través del análisis de estándares de otros países, para modificar la Norma del MTC .	La propuesta de una norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables a través del análisis de estándares de otros países permitirá modificar la norma del MTC.	Norma de estandarización de diseño geométrico de trochas carrozables	Sección transversal	Berma	Estudios hipotético-deductivo : pues a través del análisis y observaciones de manuales de países del extranjero, se realizará el proceso de inducción para así obtener la información de diseño geométrico para las trochas carrozables en el Perú.	Aplicada: pues lo que se desea es proponer una norma de estandarización de trochas para modificar la norma actual del MTC.		
				D2: X	I2: X				
				Alineamiento horizontal	Tramo en tangente				
				D3: X	I3: X				
				Alineamiento Vertical	Curva horizontal				
					Curva vertical				
	Pendiente máxima								
Problema Específico	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Y: Variable Dependiente	D1: Y	I1: Y	Estudio Descriptivo : porque describe el problema principal, que es como se puede modificar la norma del MTC, a través del análisis de estándares de diseño geométrico de otros países, explicándose que en la actual normativa vigente (DG-2018), existe un vacío respecto al diseño geométrico de trochas carrozables.	Diseño		
¿De qué manera la propuesta de diseño de sección transversal mejorará el tráfico en las trochas carrozables?	Estudiar la sección transversal a fin de mejorar el tráfico en las trochas carrozables.	El diseño de la sección transversal mejora el tráfico en las trochas carrozables, a través del análisis de estándares de otros países.	Norma del MTC	Tráfico	IMDA		POBLACION Y MUESTRA	Investigación No experimental : El presente trabajo de investigación tiene un diseño de investigación no experimental según su temporalización diseño Transversal Correlacional.	
¿De qué manera la propuesta de diseño del alineamiento horizontal mejorará la seguridad vial en las trochas carrozables?	Analizar el alineamiento horizontal a fin de mejorar la seguridad vial en las trochas carrozables.	La velocidad de diseño determina el alineamiento horizontal y mejora la seguridad vial, a través del análisis de estándares de otros países.		D2: Y	I2: Y				Población:
¿De qué manera la propuesta de diseño del alineamiento vertical se actualizará en función a la topografía del terreno?	Investigar el alineamiento vertical en función de la topografía del terreno.	El alineamiento vertical se actualizará de acuerdo a la topografía del terreno, a través de análisis de estándares de otros países.		Seguridad	Distancia de Parada.				Camino vecinal EMP. AP 112 (Almaccasa)- Yanarico- Distrito de Huayllati-Graú-Apurímac
				D3: Y	I3: Y				Muestra:
				Topografía	Plano				Tramo 1 : Emp. AP-112 (Almaccasa) Yanarico- Distrito de Huayllati-Graú-Apurímac
					Ondulado				
				Accidentado					
				Escarpado					

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°02: TABLA DE RADIOS MÍNIMOS DE CURVATURA

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
1	1	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	123.166m		N5° 49' 32"W	0+000.00m	0+123.17m
2	2	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	30.538m	80.000m		0+123.17m	0+153.70m
3	3	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	65.291m		N16° 02' 45"E	0+153.70m	0+218.99m
4	4	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.158m	180.000m		0+218.99m	0+243.15m
5	5	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	17.698m		N23° 44' 08"E	0+243.15m	0+260.85m
6	6	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	27.556m	150.000m		0+260.85m	0+288.41m
7	7	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	44.745m		N13° 12' 36"E	0+288.41m	0+333.15m
8	8	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	59.638m	50.000m		0+333.15m	0+392.79m
9	9	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.226m		N81° 33' 02"E	0+392.79m	0+413.02m
10	10	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	30.009m	35.000m		0+413.02m	0+443.02m
11	11	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	42.391m		N32° 25' 33"E	0+443.02m	0+485.42m
12	12	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.610m	60.000m		0+485.42m	0+517.03m
13	13	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	21.968m		N2° 14' 25"E	0+517.03m	0+538.99m
14	14	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	60.559m	50.000m		0+538.99m	0+599.55m
15	15	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	56.696m		N71° 38' 07"E	0+599.55m	0+656.25m
16	16	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	33.345m	150.000m		0+656.25m	0+689.59m
17	17	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	127.922m		N84° 22' 20"E	0+689.59m	0+817.52m
18	18	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.185m	120.000m		0+817.52m	0+841.70m
19	19	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	98.404m		N72° 49' 29"E	0+841.70m	0+940.10m
20	20	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	22.456m	30.000m		0+940.10m	0+962.56m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
21	21	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	167.212m		N29° 56' 11"E	0+962.56m	1+129.77m
22	22	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.414m	35.000m		1+129.77m	1+147.19m
23	23	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	15.109m		N1° 25' 48"E	1+147.19m	1+162.29m
24	24	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.173m	10.000m		1+162.29m	1+180.47m
25	25	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	0.160m		S74° 26' 52"E	1+180.47m	1+180.63m
26	26	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	16.152m	10.000m		1+180.63m	1+196.78m
27	27	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	56.481m		S18° 05' 52"W	1+196.78m	1+253.26m
28	28	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.353m	130.000m		1+253.26m	1+276.61m
29	29	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	19.314m		S28° 23' 25"W	1+276.61m	1+295.93m
30	30	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.252m	100.000m		1+295.93m	1+319.18m
31	31	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	69.163m		S15° 04' 04"W	1+319.18m	1+388.34m
32	32	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	10.079m	168.000m		1+388.34m	1+398.42m
33	33	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	64.043m		S11° 37' 49"W	1+398.42m	1+462.46m
34	34	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	20.740m	15.000m		1+462.46m	1+483.21m
35	35	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	95.333m		N89° 08' 50"W	1+483.21m	1+578.54m
36	36	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	30.416m	10.000m		1+578.54m	1+608.95m
37	37	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	22.611m		S83° 24' 59"E	1+608.95m	1+631.56m
38	38	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.610m	60.000m		1+631.56m	1+650.17m
39	39	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	61.191m		S65° 38' 43"E	1+650.17m	1+711.37m
40	40	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	36.402m	25.000m		1+711.37m	1+747.77m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
41	41	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	59.308m		N30° 55' 40"E	1+747.77m	1+807.08m
42	42	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	65.740m	100.000m		1+807.08m	1+872.82m
43	43	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.363m		N68° 35' 39"E	1+872.82m	1+893.18m
44	44	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	22.137m	15.000m		1+893.18m	1+915.32m
45	45	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	5.922m		S26° 50' 50"E	1+915.32m	1+921.24m
46	46	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	26.602m	10.000m		1+921.24m	1+947.84m
47	47	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	17.650m		N0° 44' 02"E	1+947.84m	1+965.49m
48	48	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.829m	96.000m		1+965.49m	1+981.32m
49	49	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	34.632m		N10° 10' 52"E	1+981.32m	2+015.95m
50	50	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	32.866m	11.000m		2+015.95m	2+048.82m
51	51	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	55.155m		S1° 22' 13"W	2+048.82m	2+103.97m
52	52	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	27.724m	250.000m		2+103.97m	2+131.70m
53	53	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	14.846m		S4° 59' 01"E	2+131.70m	2+146.54m
54	54	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	32.605m	58.000m		2+146.54m	2+179.15m
55	55	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	13.351m		S27° 13' 34"W	2+179.15m	2+192.50m
56	56	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.913m	16.000m		2+192.50m	2+217.41m
57	57	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.259m		N63° 33' 43"W	2+217.41m	2+226.67m
58	58	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	12.780m	21.000m		2+226.67m	2+239.45m
59	59	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	31.228m		S81° 34' 11"W	2+239.45m	2+270.68m
60	60	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.329m	10.000m		2+270.68m	2+302.01m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
61	61	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	16.322m		N82° 04' 04"E	2+302.01m	2+318.33m
62	62	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	26.116m	44.000m		2+318.33m	2+344.45m
63	63	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	12.820m		S63° 55' 29"E	2+344.45m	2+357.27m
64	64	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	47.316m	33.000m		2+357.27m	2+404.58m
65	65	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	30.761m		N33° 55' 21"E	2+404.58m	2+435.34m
66	66	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	9.140m	41.000m		2+435.34m	2+444.48m
67	67	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	6.198m		N21° 08' 59"E	2+444.48m	2+450.68m
68	68	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.873m	28.000m		2+450.68m	2+469.55m
69	69	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	0.934m		N59° 46' 07"E	2+469.55m	2+470.49m
70	70	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	22.522m	20.000m		2+470.49m	2+493.01m
71	71	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	6.512m		S55° 42' 41"E	2+493.01m	2+499.52m
72	72	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	12.457m	22.000m		2+499.52m	2+511.98m
73	73	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	5.296m		S88° 09' 12"E	2+511.98m	2+517.27m
74	74	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	6.225m	57.000m		2+517.27m	2+523.50m
75	75	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	14.536m		S81° 53' 44"E	2+523.50m	2+538.04m
76	76	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	29.090m	20.000m		2+538.04m	2+567.13m
77	77	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	16.124m		N14° 46' 01"E	2+567.13m	2+583.25m
78	78	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	12.306m	18.000m		2+583.25m	2+595.56m
79	79	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	8.959m		N24° 24' 11"W	2+595.56m	2+604.51m
80	80	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	13.480m	17.000m		2+604.51m	2+617.99m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
81	81	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	12.669m		N21° 01' 48"E	2+617.99m	2+630.66m
82	82	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	3.010m	54.000m		2+630.66m	2+633.67m
83	83	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	13.596m		N24° 13' 26"E	2+633.67m	2+647.27m
84	84	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	19.176m	95.000m		2+647.27m	2+666.45m
85	85	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	19.304m		N12° 39' 31"E	2+666.45m	2+685.75m
86	86	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	29.739m	10.000m		2+685.75m	2+715.49m
87	87	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	49.257m		S3° 02' 56"W	2+715.49m	2+764.75m
88	88	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	26.420m	80.000m		2+764.75m	2+791.17m
89	89	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	30.963m		S21° 58' 16"W	2+791.17m	2+822.13m
90	90	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	14.502m	10.000m		2+822.13m	2+836.63m
91	91	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	0.954m		S61° 07' 03"E	2+836.63m	2+837.59m
92	92	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.520m	10.000m		2+837.59m	2+853.10m
93	93	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	74.834m		N29° 57' 43"E	2+853.10m	2+927.94m
94	94	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	73.649m		N27° 37' 02"E	2+927.94m	3+001.59m
95	95	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.737m	23.000m		3+001.59m	3+019.32m
96	96	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.369m		N16° 34' 01"W	3+019.32m	3+028.69m
97	97	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	22.741m	24.000m		3+028.69m	3+051.43m
98	98	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	19.737m		N37° 43' 22"E	3+051.43m	3+071.17m
99	99	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	43.425m	37.000m		3+071.17m	3+114.60m
100	100	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	6.333m		S75° 01' 53"E	3+114.60m	3+120.93m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
101	101	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	20.396m	20.000m		3+120.93m	3+141.33m
102	102	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	1.281m		N46° 32' 19"E	3+141.33m	3+142.61m
103	103	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	19.174m	30.000m		3+142.61m	3+161.78m
104	104	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	24.983m		N83° 09' 28"E	3+161.78m	3+186.76m
105	105	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	51.079m	51.000m		3+186.76m	3+237.84m
106	106	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	10.436m		S39° 27' 29"E	3+237.84m	3+248.28m
107	107	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.718m	80.000m		3+248.28m	3+272.00m
108	108	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.652m		S56° 26' 41"E	3+272.00m	3+292.65m
109	109	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.094m	60.000m		3+292.65m	3+316.74m
110	110	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	12.880m		S33° 26' 12"E	3+316.74m	3+329.62m
111	111	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	42.708m	60.000m		3+329.62m	3+372.33m
112	112	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	60.610m		S74° 13' 10"E	3+372.33m	3+432.94m
113	113	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	14.828m	26.000m		3+432.94m	3+447.77m
114	114	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	11.692m		S41° 32' 33"E	3+447.77m	3+459.46m
115	115	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	9.321m	13.000m		3+459.46m	3+468.78m
116	116	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.982m		S82° 37' 21"E	3+468.78m	3+478.76m
117	117	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.230m	35.000m		3+478.76m	3+493.99m
118	118	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	14.293m		N72° 26' 46"E	3+493.99m	3+508.29m
119	119	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.548m	23.000m		3+508.29m	3+523.83m
120	120	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	6.325m		S68° 49' 21"E	3+523.83m	3+530.16m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
121	121	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.264m	10.000m		3+530.16m	3+547.42m
122	122	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	8.559m		N12° 15' 34"E	3+547.42m	3+555.98m
123	123	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	11.312m	11.000m		3+555.98m	3+567.29m
124	124	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	4.866m		N71° 10' 43"E	3+567.29m	3+572.16m
125	125	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	5.635m	11.000m		3+572.16m	3+577.79m
126	126	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	5.158m		N41° 49' 46"E	3+577.79m	3+582.95m
127	127	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	16.204m	12.000m		3+582.95m	3+599.16m
128	128	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	28.632m		S60° 48' 00"E	3+599.16m	3+627.79m
129	129	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	26.872m	120.000m		3+627.79m	3+654.66m
130	130	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	19.578m		S73° 37' 49"E	3+654.66m	3+674.24m
131	131	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	28.539m	20.000m		3+674.24m	3+702.78m
132	132	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	42.988m		N24° 36' 41"E	3+702.78m	3+745.77m
133	133	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.622m	11.000m		3+745.77m	3+761.39m
134	134	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.642m		S74° 01' 04"E	3+761.39m	3+782.03m
135	135	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	1.664m	48.000m		3+782.03m	3+783.70m
136	136	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	26.669m		S76° 00' 16"E	3+783.70m	3+810.36m
137	137	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	25.012m	80.000m		3+810.36m	3+835.38m
138	138	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	15.806m		N86° 04' 56"E	3+835.38m	3+851.18m
139	139	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	30.406m	28.000m		3+851.18m	3+881.59m
140	140	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	21.331m		N23° 51' 50"E	3+881.59m	3+902.92m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
141	141	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	28.270m	56.000m		3+902.92m	3+931.19m
142	142	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	3.866m		N5° 03' 35"W	3+931.19m	3+935.06m
143	143	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	28.246m	120.000m		3+935.06m	3+963.30m
144	144	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	36.990m		N8° 25' 37"E	3+963.30m	4+000.29m
145	145	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.800m	50.000m		4+000.29m	4+025.09m
146	146	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.486m		N36° 50' 46"E	4+025.09m	4+045.58m
147	147	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	13.926m	13.000m		4+045.58m	4+059.50m
148	148	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	16.438m		S81° 46' 43"E	4+059.50m	4+075.94m
149	149	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	21.872m	18.000m		4+075.94m	4+097.81m
150	150	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	27.520m		N28° 35' 58"E	4+097.81m	4+125.33m
151	151	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	29.995m	10.000m		4+125.33m	4+155.33m
152	152	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	8.681m		S20° 27' 26"W	4+155.33m	4+164.01m
153	153	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	36.852m	44.000m		4+164.01m	4+200.86m
154	154	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.368m		S68° 26' 42"W	4+200.86m	4+221.23m
155	155	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	20.166m	57.000m		4+221.23m	4+241.40m
156	156	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	7.850m		S48° 10' 27"W	4+241.40m	4+249.25m
157	157	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.132m	10.000m		4+249.25m	4+280.38m
158	158	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	21.126m		N49° 48' 01"E	4+280.38m	4+301.50m
159	159	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	19.833m	28.000m		4+301.50m	4+321.34m
160	160	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	12.057m		S89° 36' 56"E	4+321.34m	4+333.39m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
161	161	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.661m	120.000m		4+333.39m	4+352.05m
162	162	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	15.230m		N81° 28' 28"E	4+352.05m	4+367.28m
163	163	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	40.047m	23.000m		4+367.28m	4+407.33m
164	164	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	52.626m		N18° 17' 15"W	4+407.33m	4+459.96m
165	165	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	16.563m	23.000m		4+459.96m	4+476.52m
166	166	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	45.181m		N22° 58' 21"E	4+476.52m	4+521.70m
167	167	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	14.966m	17.000m		4+521.70m	4+536.67m
168	168	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	16.451m		N27° 28' 00"W	4+536.67m	4+553.12m
169	169	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	11.676m	10.000m		4+553.12m	4+564.79m
170	170	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	40.581m		N39° 25' 53"E	4+564.79m	4+605.37m
171	171	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	48.432m	75.000m		4+605.37m	4+653.81m
172	172	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	48.623m		N2° 25' 55"E	4+653.81m	4+702.43m
173	173	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.129m	93.000m		4+702.43m	4+726.56m
174	174	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	10.841m		N17° 17' 50"E	4+726.56m	4+737.40m
175	175	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	26.643m	60.000m		4+737.40m	4+764.04m
176	176	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	8.603m		N8° 08' 43"W	4+764.04m	4+772.65m
177	177	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	32.974m	33.000m		4+772.65m	4+805.62m
178	178	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	48.339m		N49° 06' 21"E	4+805.62m	4+853.96m
179	179	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	10.646m	21.000m		4+853.96m	4+864.60m
180	180	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	36.067m		N20° 03' 32"E	4+864.60m	4+900.67m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
181	181	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	37.839m	45.000m		4+900.67m	4+938.51m
182	182	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	22.029m		N68° 14' 14"E	4+938.51m	4+960.54m
183	183	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	30.920m	33.000m		4+960.54m	4+991.46m
184	184	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	7.293m		N14° 33' 12"E	4+991.46m	4+998.75m
185	185	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.138m	50.000m		4+998.75m	5+021.89m
186	186	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	2.349m		N41° 04' 05"E	5+021.89m	5+024.24m
187	187	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	21.754m	23.000m		5+024.24m	5+045.99m
188	188	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	14.471m		N13° 07' 22"W	5+045.99m	5+060.47m
189	189	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.023m	45.000m		5+060.47m	5+083.49m
190	190	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	4.974m		N16° 11' 27"E	5+083.49m	5+088.46m
191	191	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.654m	60.000m		5+088.46m	5+112.12m
192	192	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	1.779m		N38° 46' 43"E	5+112.12m	5+113.90m
193	193	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	19.278m	25.000m		5+113.90m	5+133.17m
194	194	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	5.609m		N82° 57' 40"E	5+133.17m	5+138.78m
195	195	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	12.328m	12.000m		5+138.78m	5+151.11m
196	196	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	15.287m		N24° 06' 04"E	5+151.11m	5+166.40m
197	197	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	11.214m	36.000m		5+166.40m	5+177.61m
198	198	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	6.887m		N6° 15' 13"E	5+177.61m	5+184.50m
199	199	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.046m	23.000m		5+184.50m	5+202.54m
200	200	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	28.837m		N51° 12' 33"E	5+202.54m	5+231.38m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
201	201	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.180m	10.000m		5+231.38m	5+262.56m
202	202	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	20.621m		S49° 51' 31"W	5+262.56m	5+283.18m
203	203	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.865m	15.000m		5+283.18m	5+299.05m
204	204	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.208m		S10° 44' 22"E	5+299.05m	5+308.26m
205	205	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	13.081m	22.000m		5+308.26m	5+321.34m
206	206	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	37.763m		S23° 19' 40"W	5+321.34m	5+359.10m
207	207	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	8.684m	11.000m		5+359.10m	5+367.78m
208	208	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	23.253m		S21° 54' 17"E	5+367.78m	5+391.04m
209	209	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	14.104m	26.000m		5+391.04m	5+405.14m
210	210	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	11.794m		S9° 10' 37"W	5+405.14m	5+416.94m
211	211	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	10.641m	83.000m		5+416.94m	5+427.58m
212	212	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.389m		S1° 49' 52"W	5+427.58m	5+436.97m
213	213	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.335m	10.000m		5+436.97m	5+468.30m
214	214	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	5.612m		N2° 17' 37"E	5+468.30m	5+473.91m
215	215	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	6.633m	31.000m		5+473.91m	5+480.55m
216	216	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	7.201m		N9° 57' 57"W	5+480.55m	5+487.75m
217	217	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	34.387m	57.000m		5+487.75m	5+522.13m
218	218	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	4.572m		N24° 35' 58"E	5+522.13m	5+526.71m
219	219	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	8.638m	17.000m		5+526.71m	5+535.34m
220	220	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	22.306m		N53° 42' 41"E	5+535.34m	5+557.65m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

continúa

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
221	221	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	21.503m	16.000m		5+557.65m	5+579.15m
222	222	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	29.086m		N23° 17' 25"W	5+579.15m	5+608.24m
223	223	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	19.533m	10.000m		5+608.24m	5+627.77m
224	224	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	0.369m		N88° 37' 22"E	5+627.77m	5+628.14m
225	225	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	18.158m	10.000m		5+628.14m	5+646.30m
226	226	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	9.533m		S12° 39' 35"W	5+646.30m	5+655.83m
227	227	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	10.758m	13.000m		5+655.83m	5+666.59m
228	228	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	28.051m		S34° 45' 11"E	5+666.59m	5+694.64m
229	229	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	31.547m	30.000m		5+694.64m	5+726.19m
230	230	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	13.016m		S25° 29' 51"W	5+726.19m	5+739.20m
231	231	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	29.453m	80.000m		5+739.20m	5+768.66m
232	232	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	8.649m		S4° 24' 12"W	5+768.66m	5+777.30m
233	233	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	31.092m		S1° 39' 16"W	5+777.30m	5+808.40m
234	234	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	28.441m	28.000m		5+808.40m	5+836.84m
235	235	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	10.340m		S59° 51' 08"W	5+836.84m	5+847.18m
236	236	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	23.195m	49.000m		5+847.18m	5+870.37m
237	237	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	53.646m		S32° 43' 50"W	5+870.37m	5+924.02m
238	238	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	16.760m	10.000m		5+924.02m	5+940.78m
239	239	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	1.136m		S63° 17' 56"E	5+940.78m	5+941.91m
240	240	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	15.015m	10.000m		5+941.91m	5+956.93m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de radios mínimos de curvatura

No.	Número	Tipo	Restricción de tangencia	Restricción de parámetros	Longitud	Radio	Dirección	Estación de inicio	Estación final
241	241	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	21.906m		N30° 40' 21"E	5+956.93m	5+978.83m
242	242	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	35.493m	44.000m		5+978.83m	6+014.33m
243	243	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	30.988m		N76° 53' 25"E	6+014.33m	6+045.32m
244	244	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	24.594m	15.000m		6+045.32m	6+069.91m
245	245	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	10.471m		N17° 03' 13"W	6+069.91m	6+080.38m
246	246	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.941m	10.000m		6+080.38m	6+098.32m
247	247	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	0.524m		N85° 44' 30"E	6+098.32m	6+098.85m
248	248	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	14.949m	10.000m		6+098.85m	6+113.79m
249	249	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	39.078m		S8° 36' 25"E	6+113.79m	6+152.87m
250	250	Curve	Constrained on Both Sides (Free)	Radius	17.911m	20.000m		6+152.87m	6+170.78m
251	251	Line	Not Constrained (Fixed)	Two points	83.928m		S42° 42' 13"W	6+170.78m	6+254.71m

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°03: TABLA DE PENDIENTES MÁXIMAS

Anexo N°3: Tabla de pendientes máximas

continúa

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Sub-Entity Type	Profile Curve Length	K Value
1	0+000.00m	4006.697m		-7.31%					
2	0+099.49m	3999.428m	-7.31%	-5.86%	1.45%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	41.416
3	0+336.17m	3985.562m	-5.86%	-6.80%	0.94%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	84.669
4	0+687.92m	3961.633m	-6.80%	-0.29%	6.51%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	9.211
5	0+797.28m	3961.316m	-0.29%	-3.70%	3.41%	Crest	Symmetric Parabola	50.000m	14.661
6	0+874.61m	3958.455m	-3.70%	-3.68%	0.02%	Sag	Symmetric Parabola	50.000m	2398.226
7	1+054.74m	3951.828m	-3.68%	-3.07%	0.61%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	98.201
8	1+217.88m	3946.822m	-3.07%	-2.22%	0.85%	Sag	Symmetric Parabola	80.000m	94.572
9	1+573.04m	3938.930m	-2.22%	-7.57%	5.35%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	14.952
10	1+808.11m	3921.130m	-7.57%	-6.90%	0.68%	Sag	Symmetric Parabola	100.000m	148.046
11	2+043.64m	3904.884m	-6.90%	-4.05%	2.84%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	21.109
12	2+273.57m	3895.561m	-4.05%	-6.04%	1.98%	Crest	Symmetric Parabola	60.000m	30.279
13	2+473.92m	3883.467m	-6.04%	-6.22%	0.18%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	439.224
14	2+607.61m	3875.154m	-6.22%	-5.64%	0.58%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	103.386
15	2+807.02m	3863.910m	-5.64%	-4.57%	1.07%	Sag	Symmetric Parabola	80.000m	74.726
16	3+044.41m	3853.068m	-4.57%	-5.78%	1.21%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	66.255
17	3+252.16m	3841.070m	-5.78%	-6.80%	1.02%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	78.369
18	3+423.98m	3829.394m	-6.80%	-2.44%	4.36%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	13.759
19	3+563.47m	3825.997m	-2.44%	-0.48%	1.95%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	30.713
20	3+658.63m	3825.538m	-0.48%	-8.29%	7.80%	Crest	Symmetric Parabola	60.000m	7.688

Fuente: Elaboración propia.

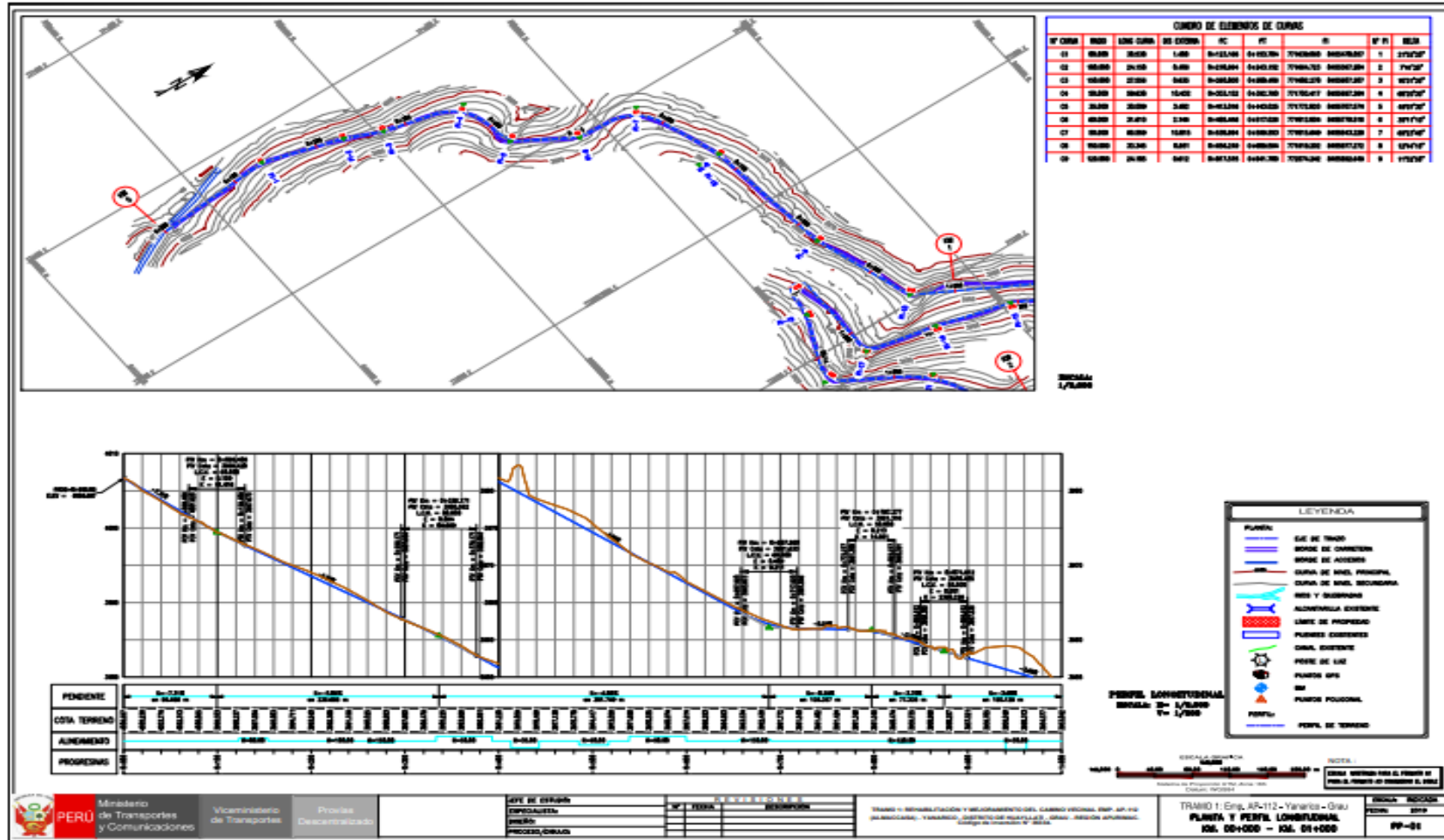
Anexo N°3: Tabla de pendientes máximas

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Sub-Entity Type	Profile Curve Length	K Value
21	3+762.30m	3816.947m	-8.29%	-0.75%	7.54%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	7.958
22	3+913.99m	3815.814m	-0.75%	-2.76%	2.02%	Crest	Symmetric Parabola	60.000m	29.756
23	4+068.65m	3811.541m	-2.76%	-6.66%	3.90%	Crest	Symmetric Parabola	60.000m	15.402
24	4+242.59m	3799.959m	-6.66%	-5.94%	0.72%	Sag	Symmetric Parabola	80.000m	111.363
25	4+556.93m	3781.286m	-5.94%	1.41%	7.35%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	8.163
26	4+708.29m	3783.419m	1.41%	-3.59%	5.00%	Crest	Symmetric Parabola	60.000m	11.997
27	4+826.53m	3779.172m	-3.59%	0.29%	3.88%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	15.457
28	4+951.65m	3779.535m	0.29%	-8.65%	8.94%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	8.947
29	5+157.10m	3761.759m	-8.65%	-10.30%	1.64%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	48.648
30	5+377.67m	3739.049m	-10.30%	-7.11%	3.18%	Sag	Symmetric Parabola	80.000m	25.139
31	5+724.56m	3714.370m	-7.11%	-10.84%	3.73%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	21.447
32	5+926.71m	3692.449m	-10.84%	-8.39%	2.45%	Sag	Symmetric Parabola	60.000m	24.448
33	6+081.66m	3679.449m	-8.39%	-9.03%	0.64%	Crest	Symmetric Parabola	80.000m	125.544
34	6+254.71m	3663.827m	-9.03%						

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°04: PLANOS DE PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL

Anexo N°04: Planta y perfil longitudinal km. 00+000 – km. 01+000

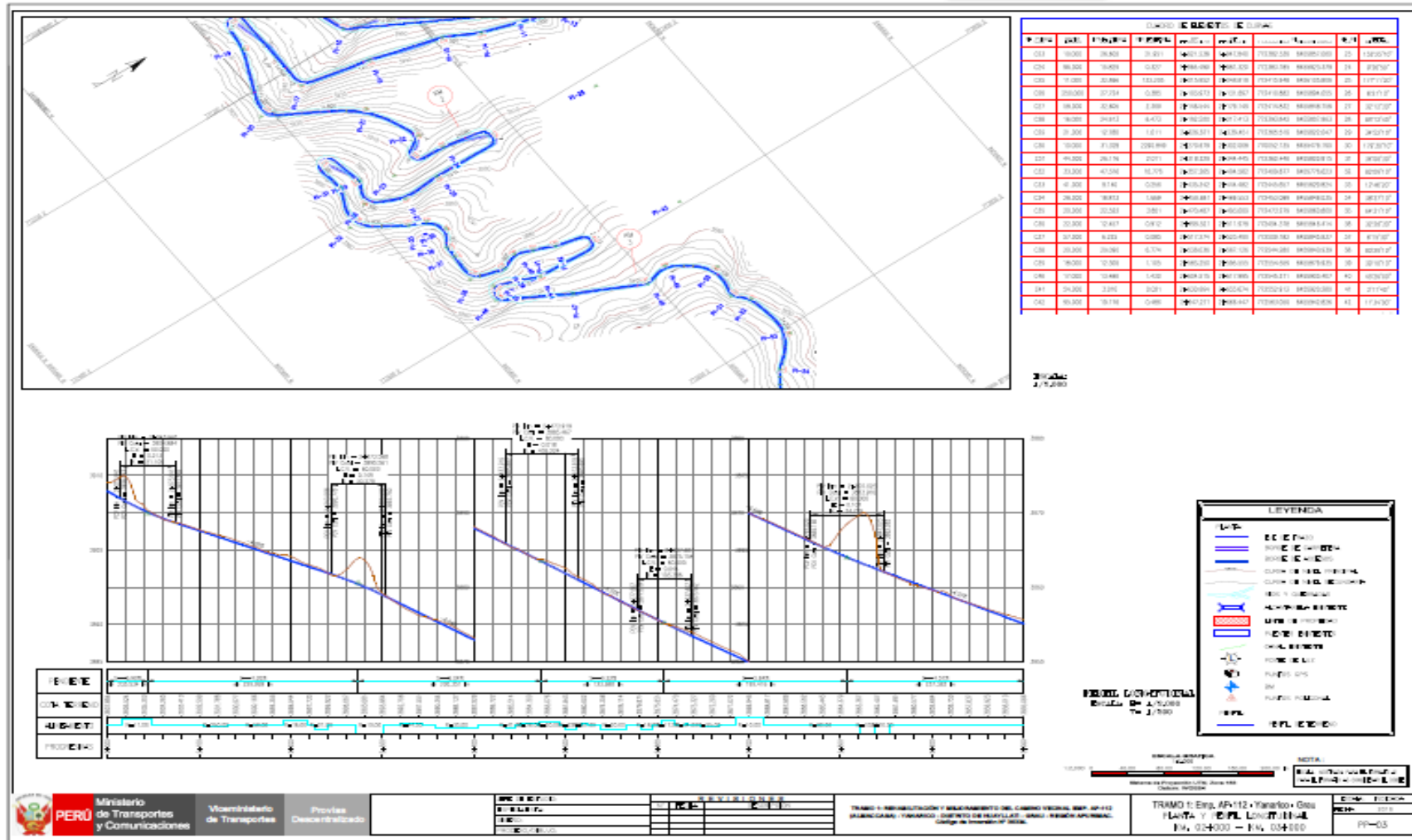


PERFIL LONGITUDINAL: ESCALA: 1:1000

NOTA: ESTOS DATOS SON DEL PROYECTO DE PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO 1.

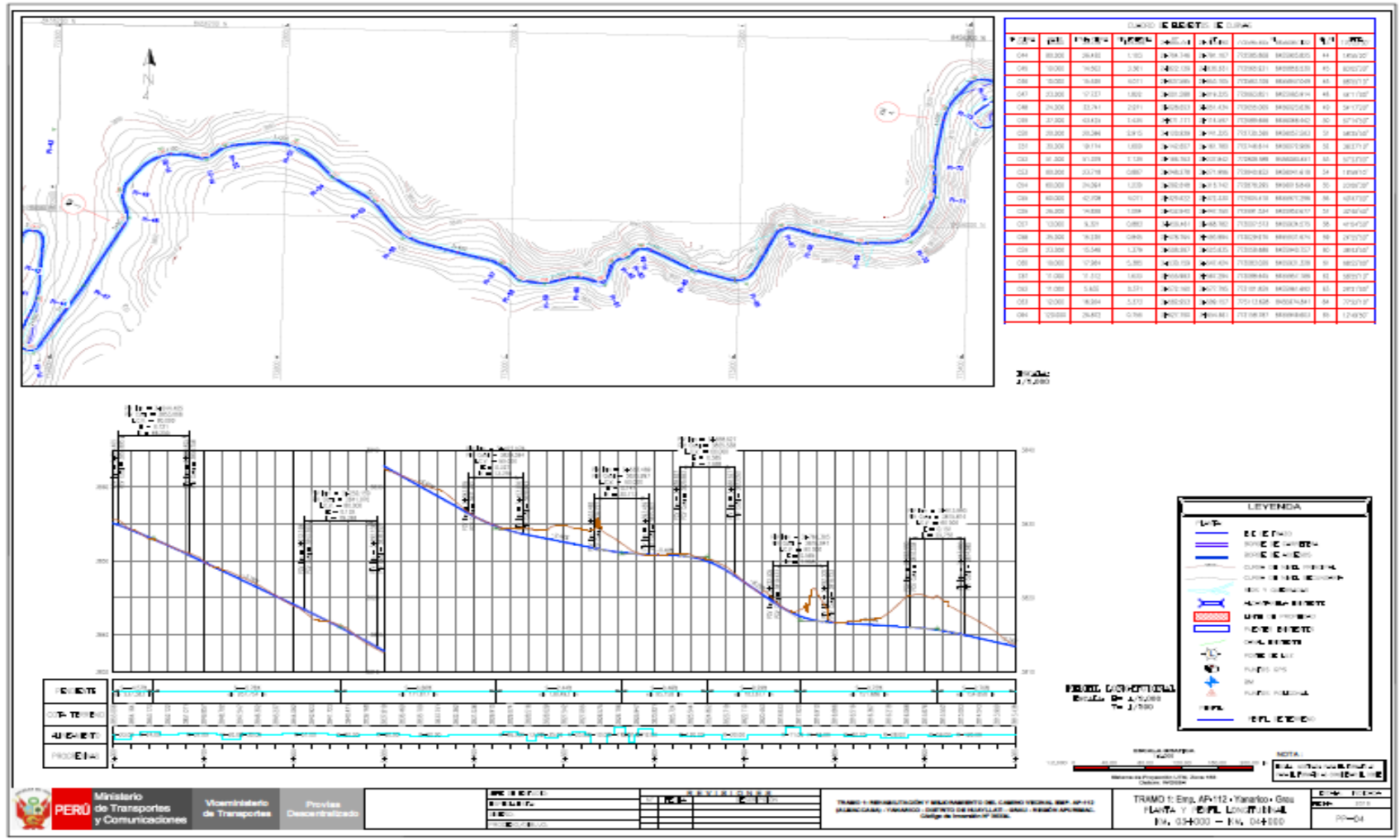
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°04: Planta y perfil longitudinal km. 02+000 – km. 03+000



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

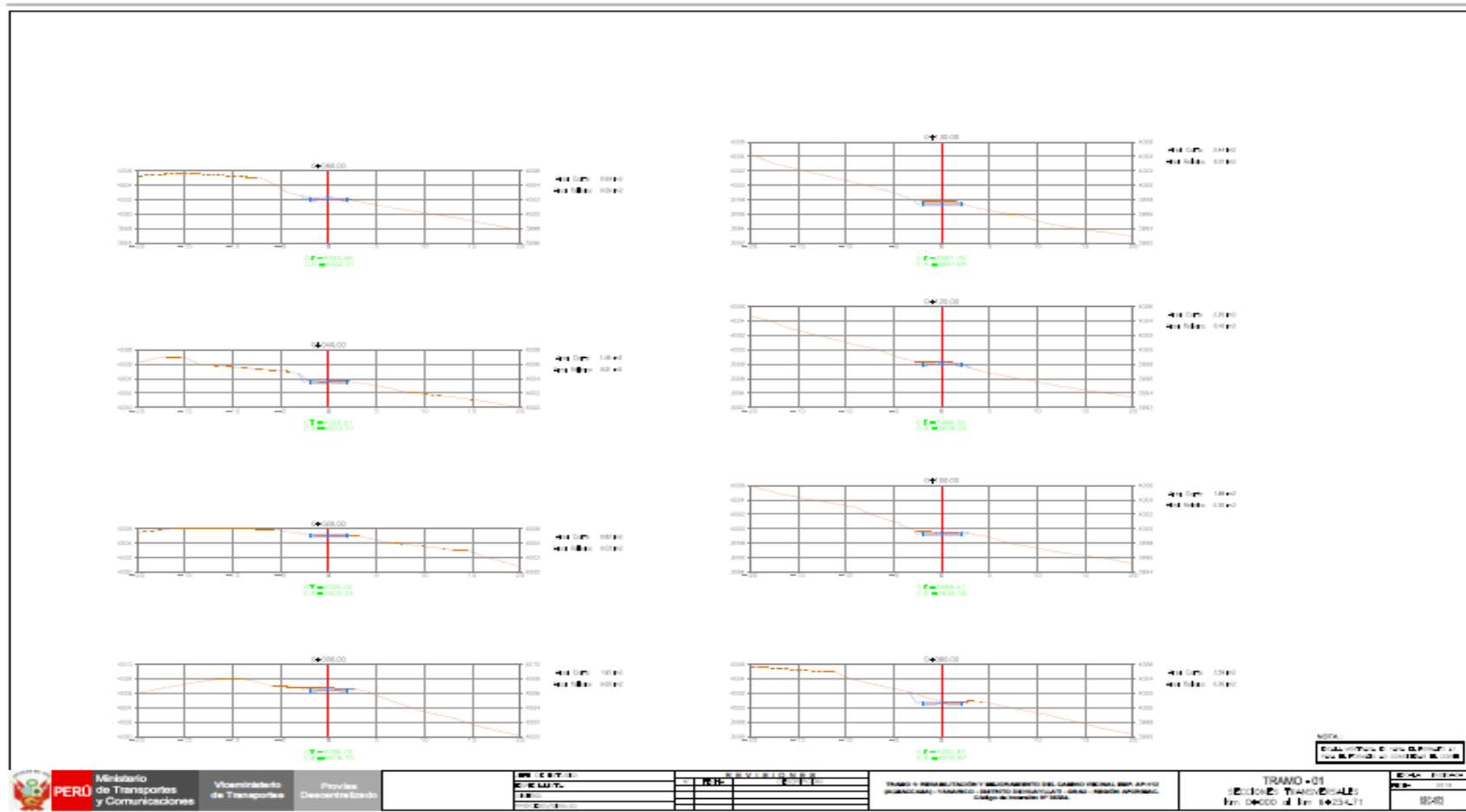
Anexo N°04: Planta y perfil longitudinal km. 03+000 – km. 04+000



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

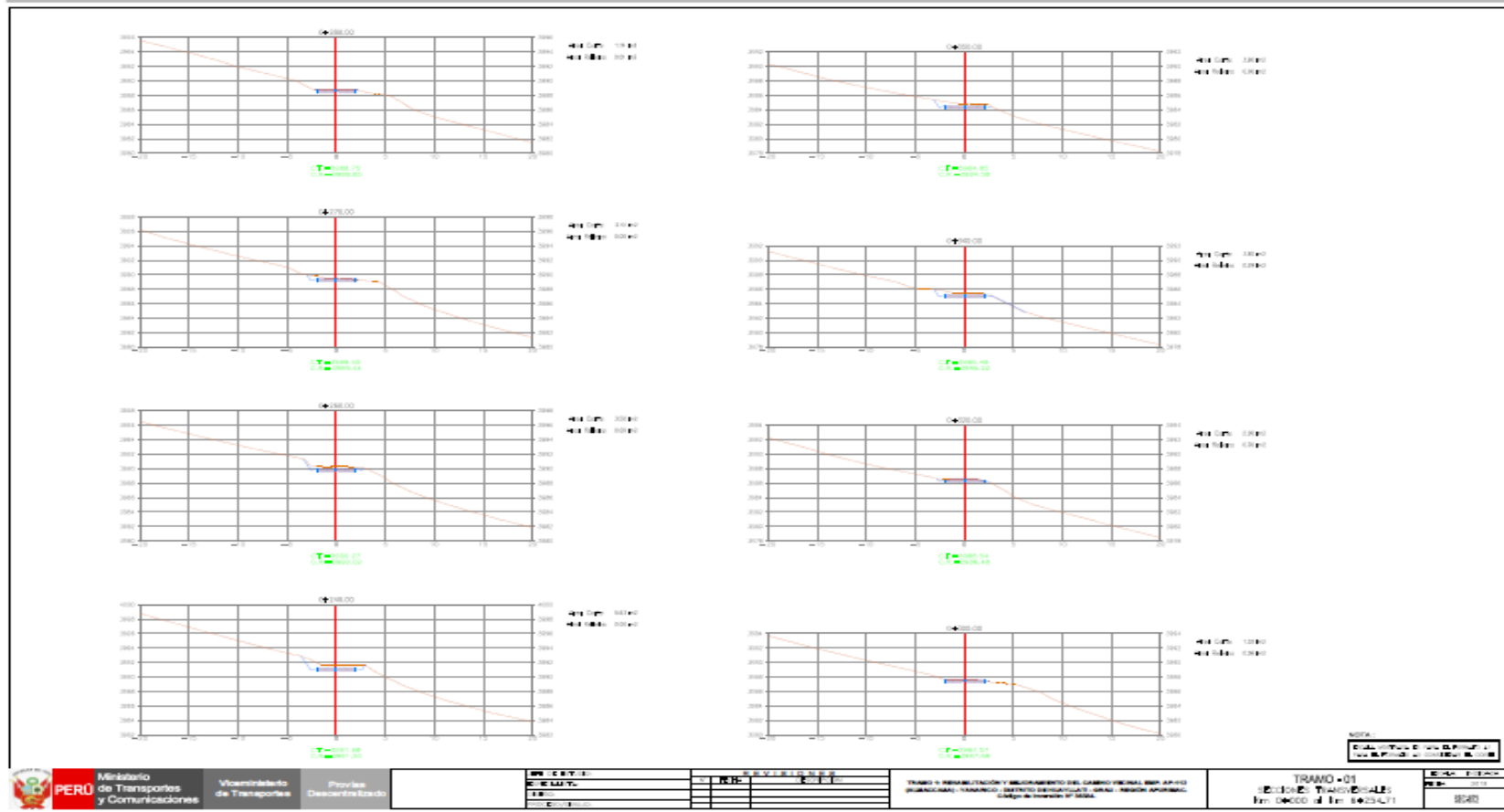
ANEXO N°05: PLANOS DE SECCIONES TRANSVERSALES

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



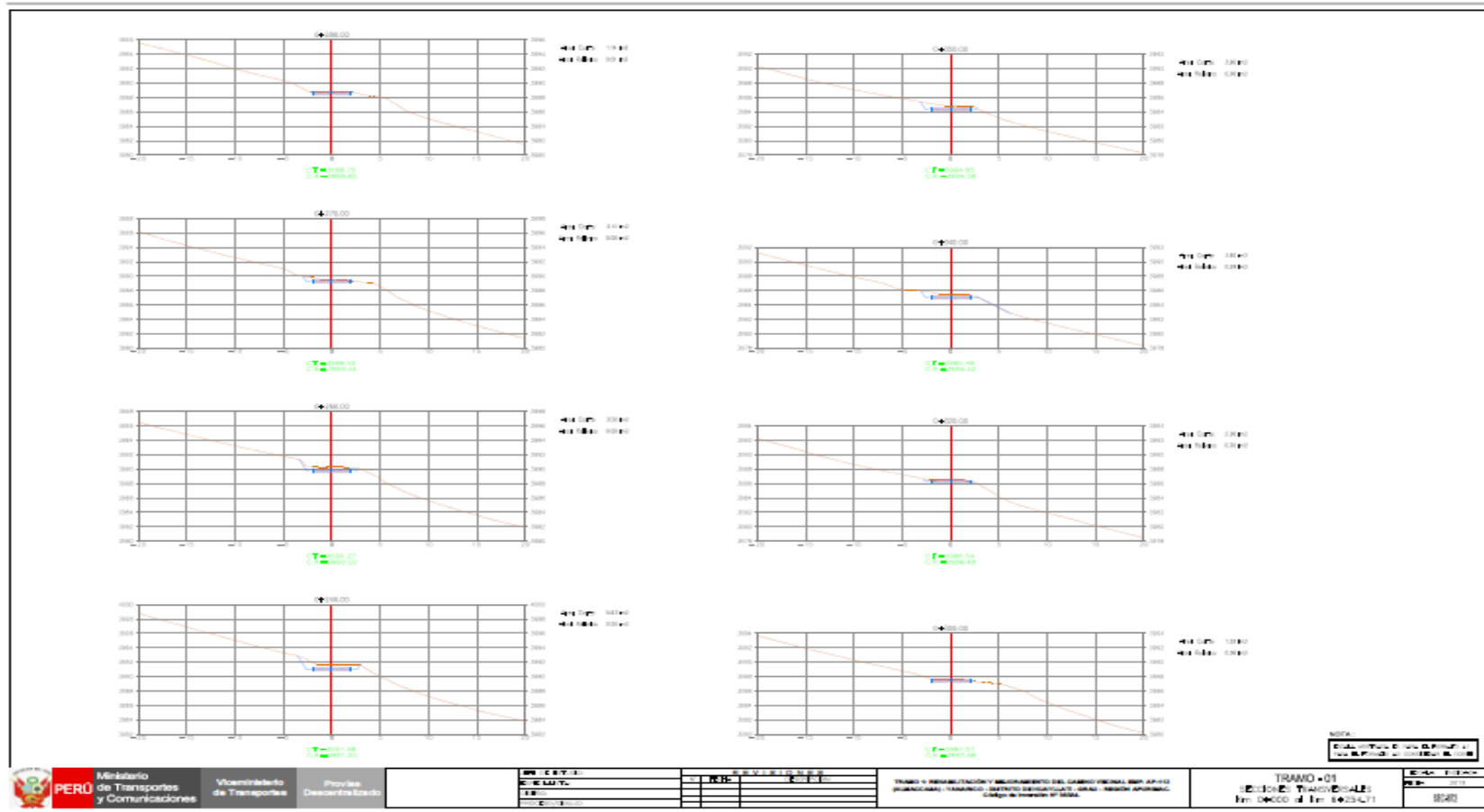
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



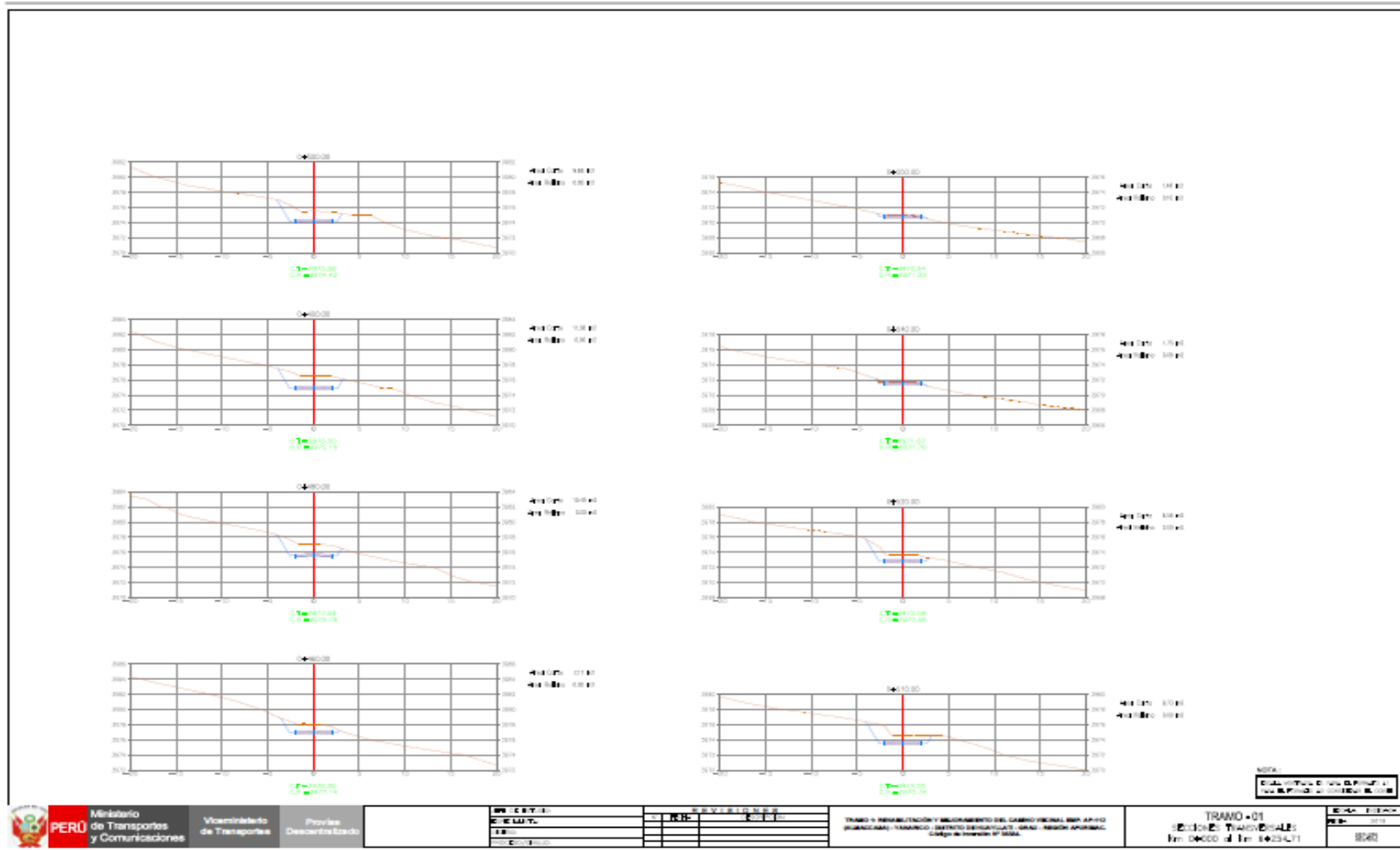
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provisión Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



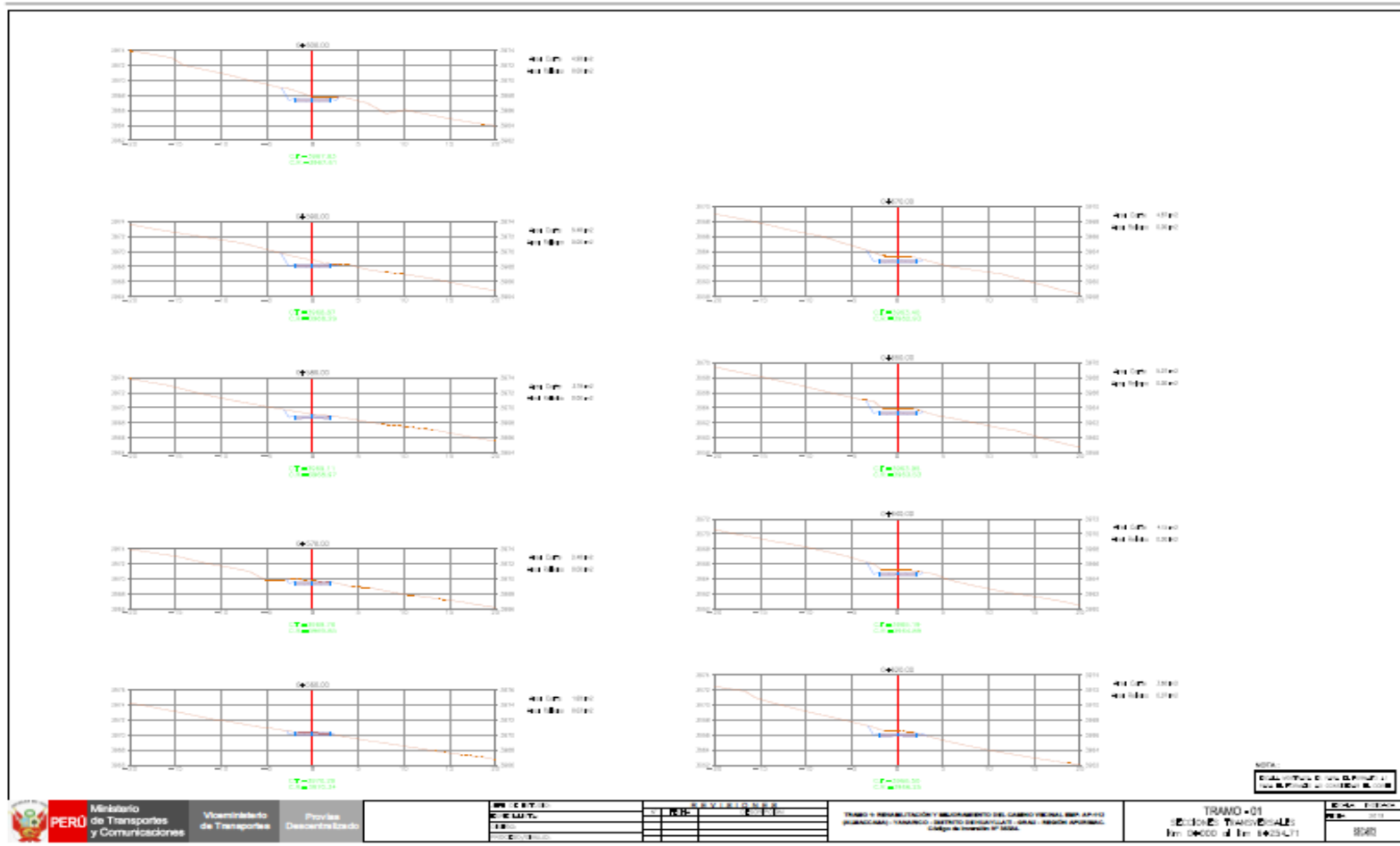
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Proviás Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



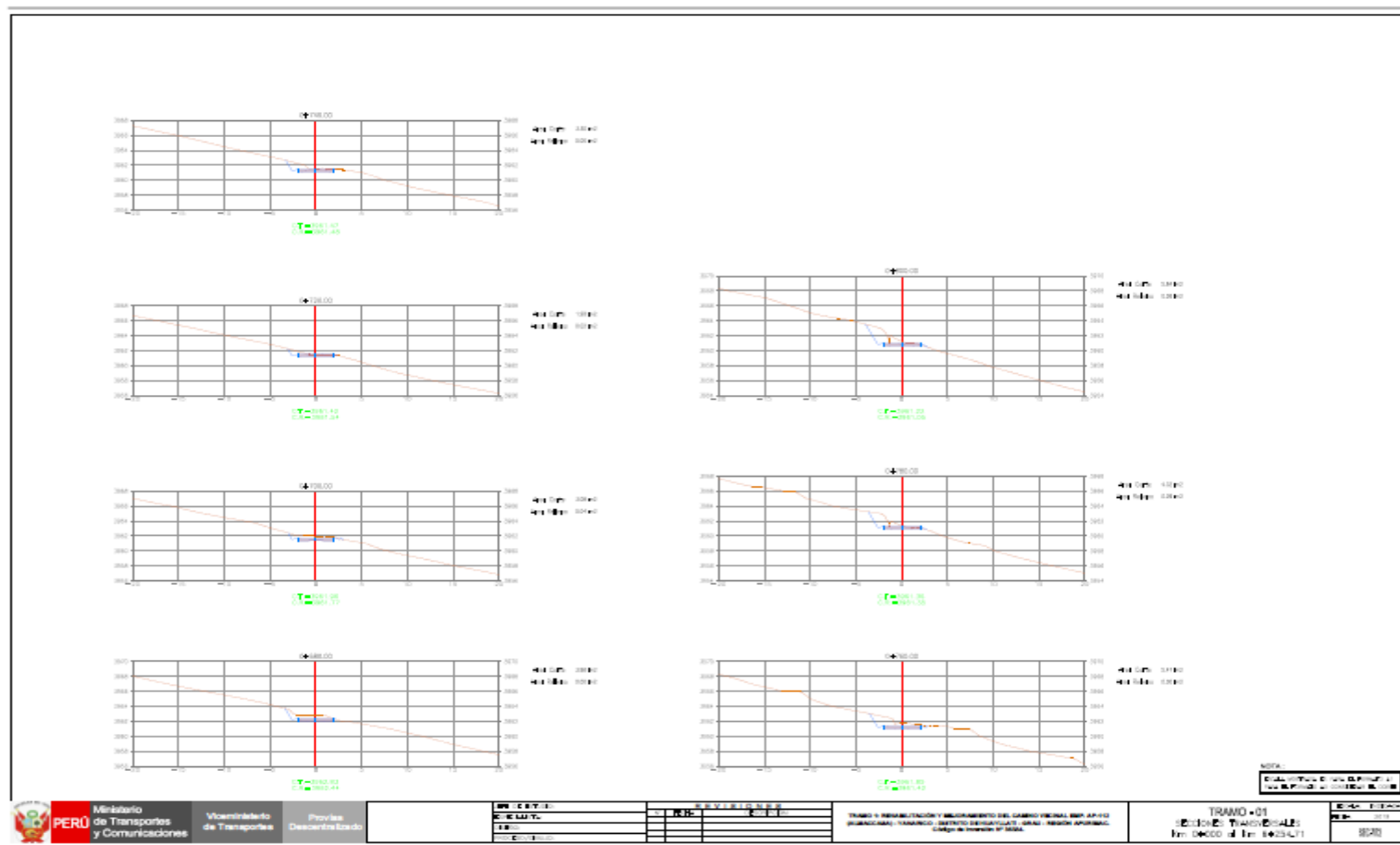
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



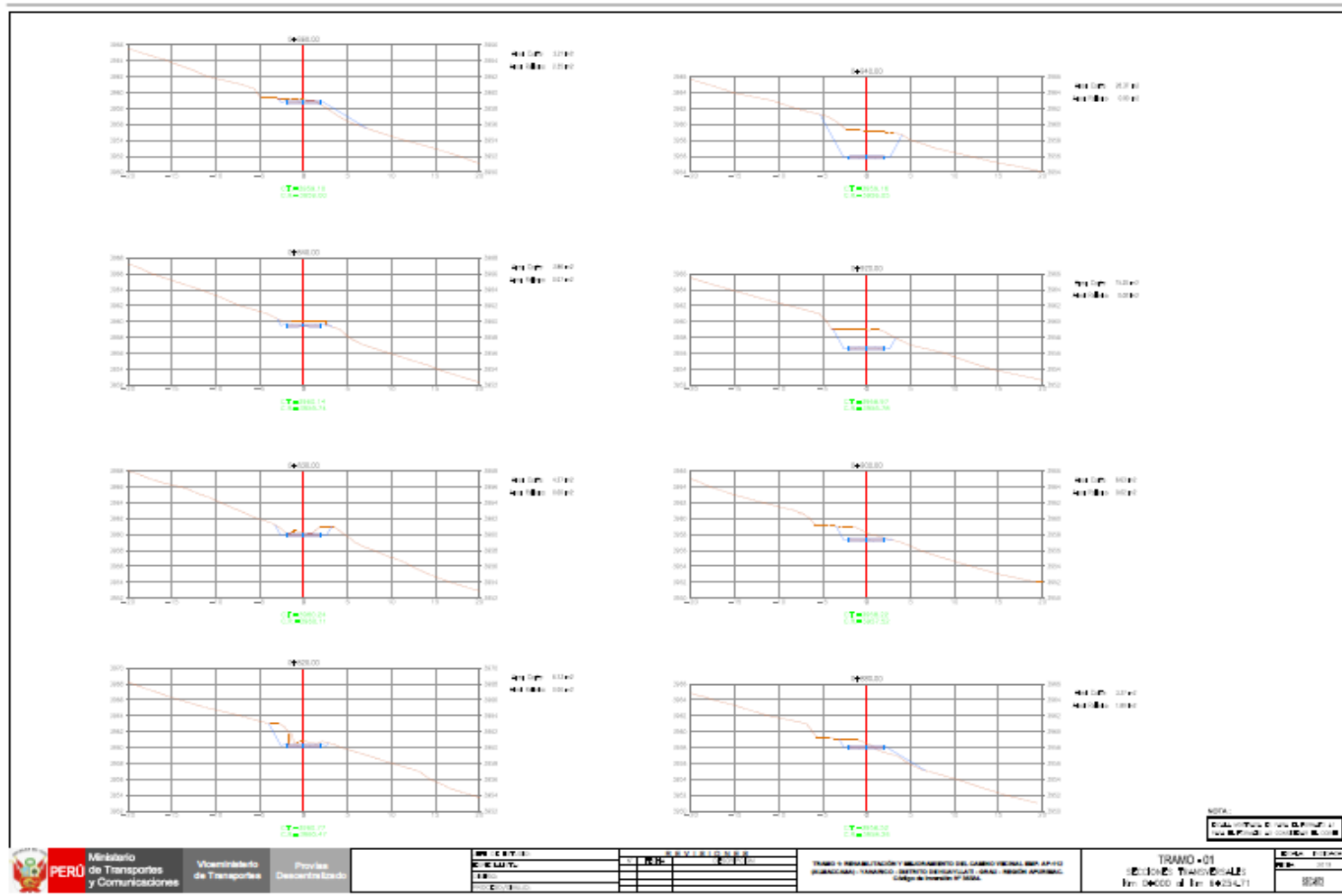
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provisión Descentralizada

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



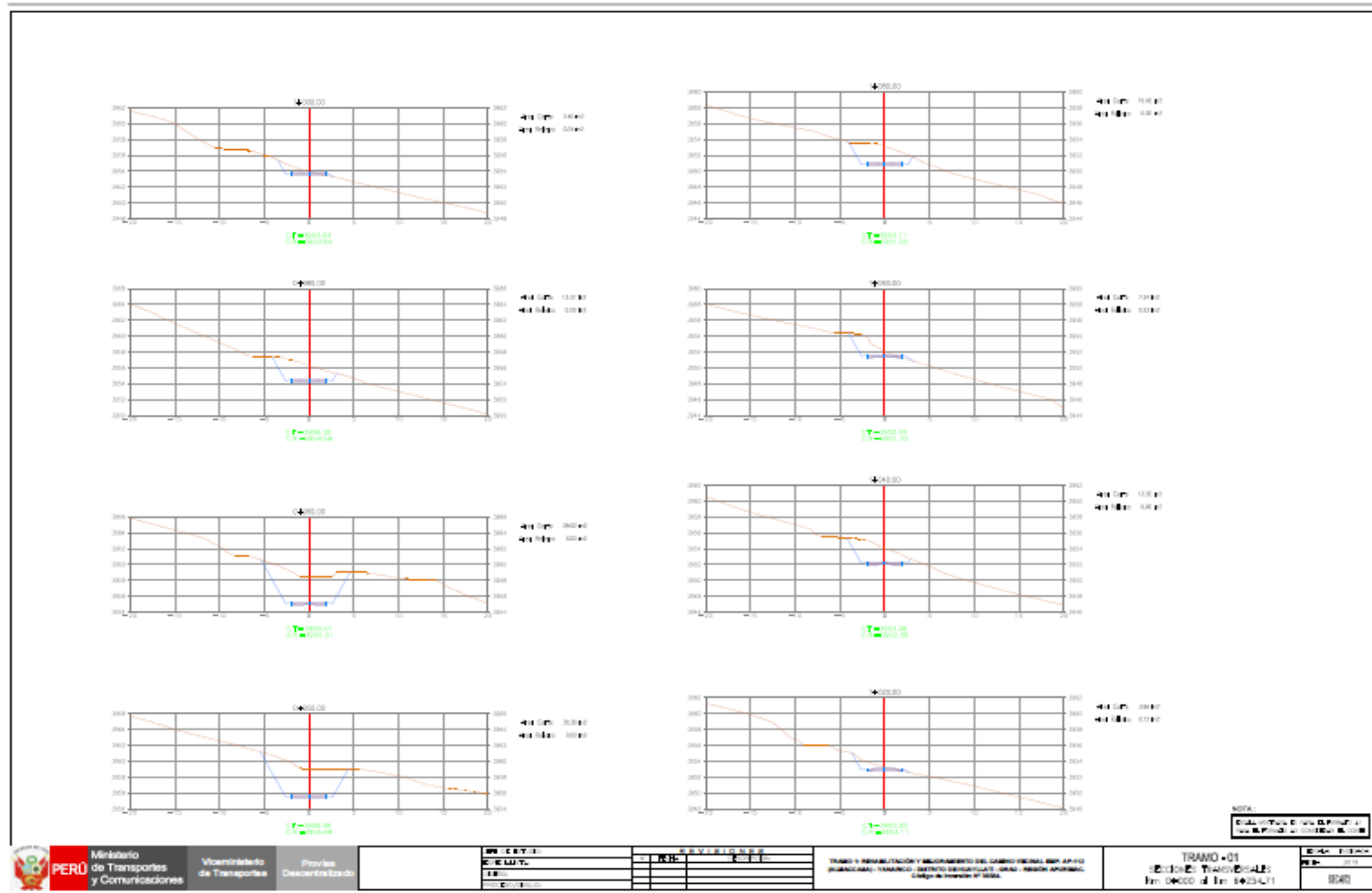
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provisión Descentralizada

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



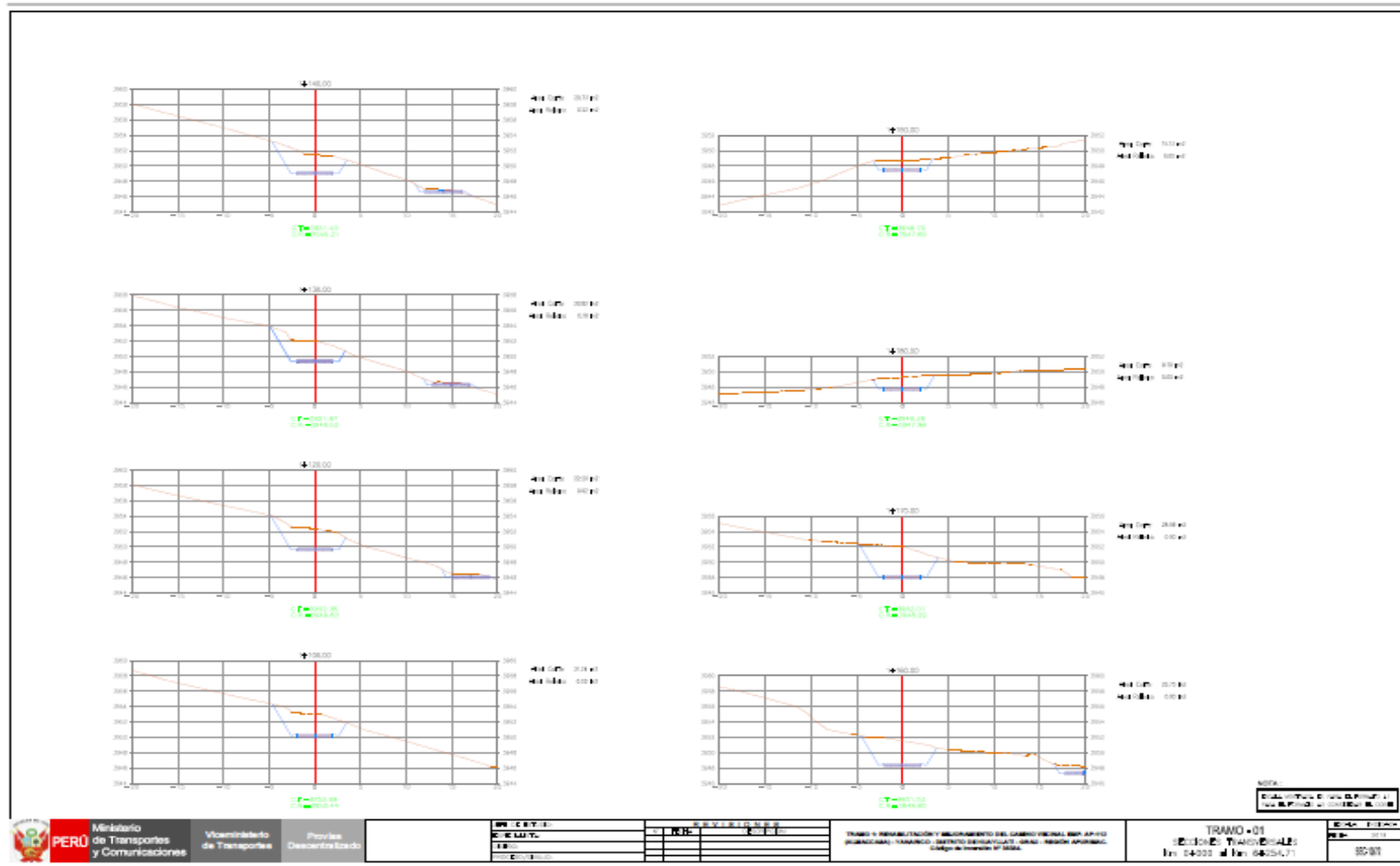
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - ProVías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



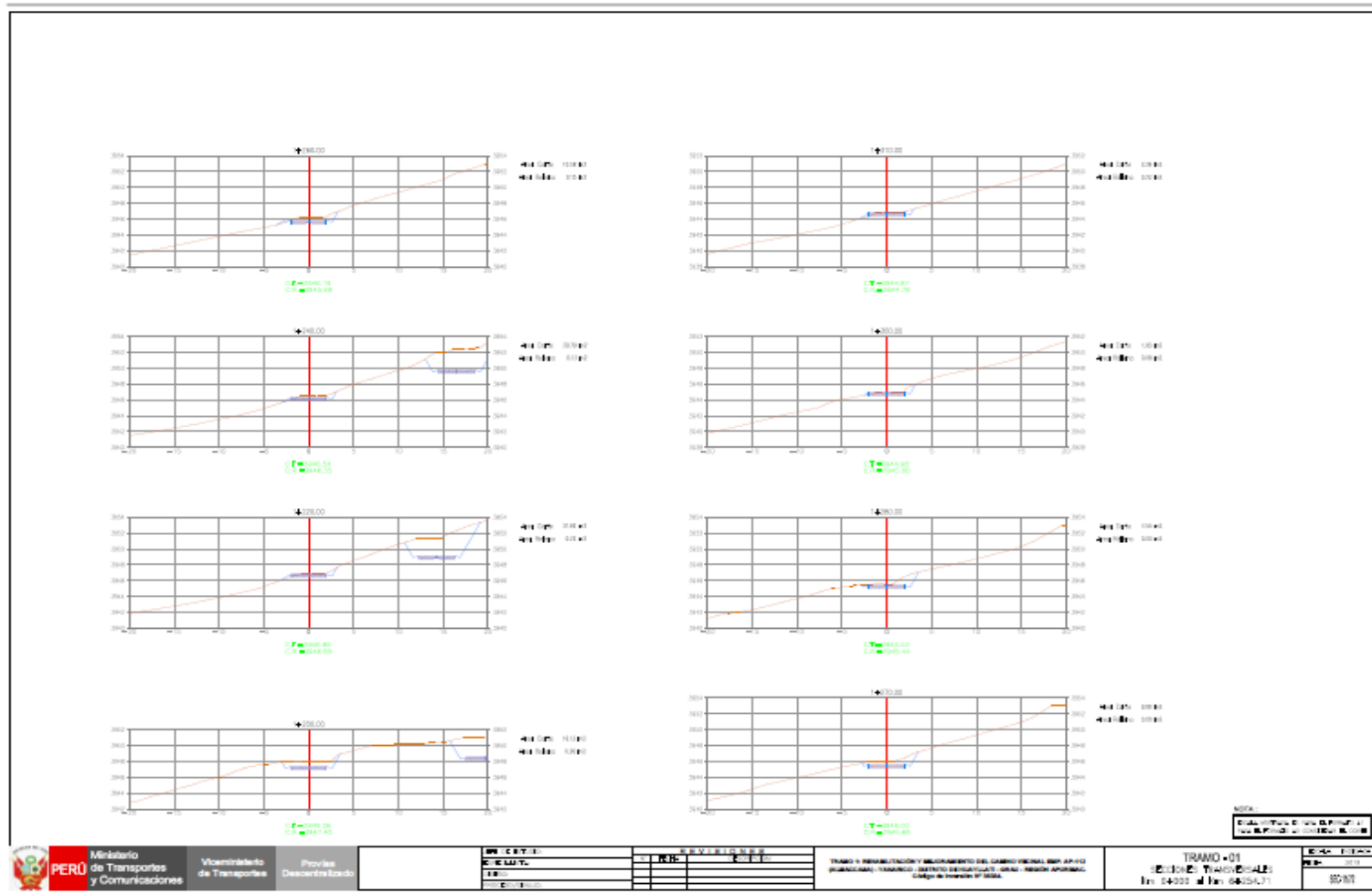
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



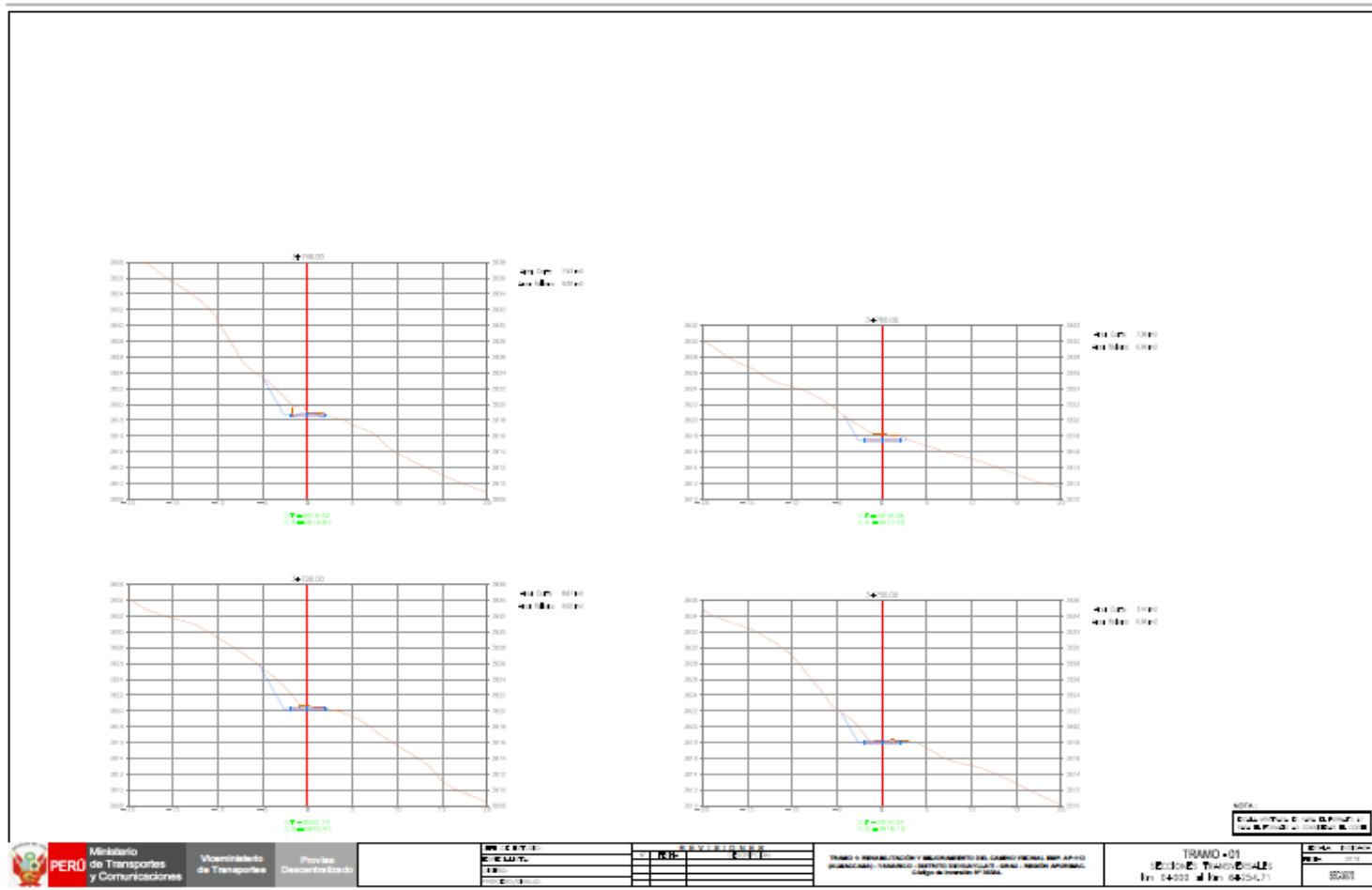
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



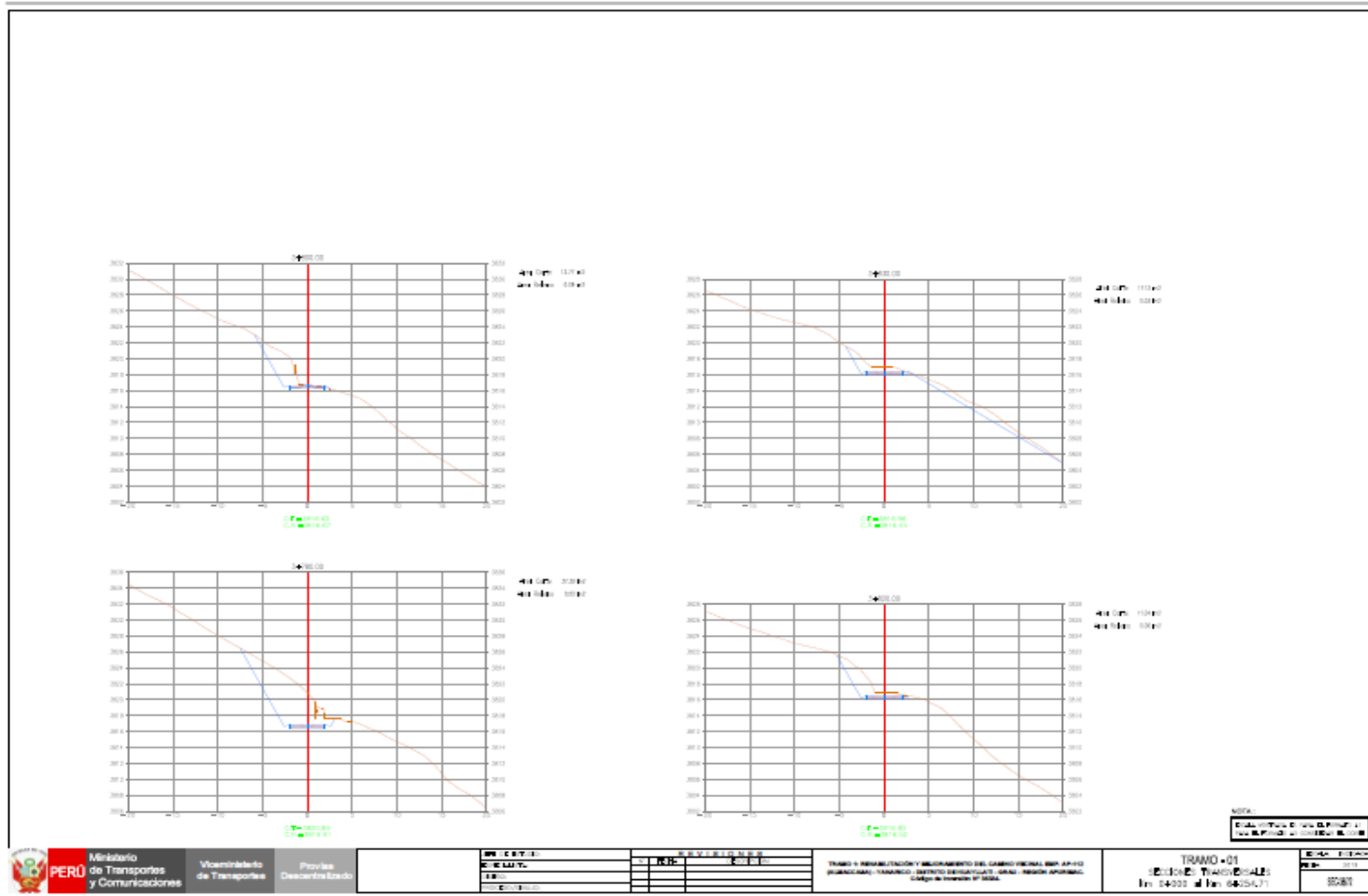
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



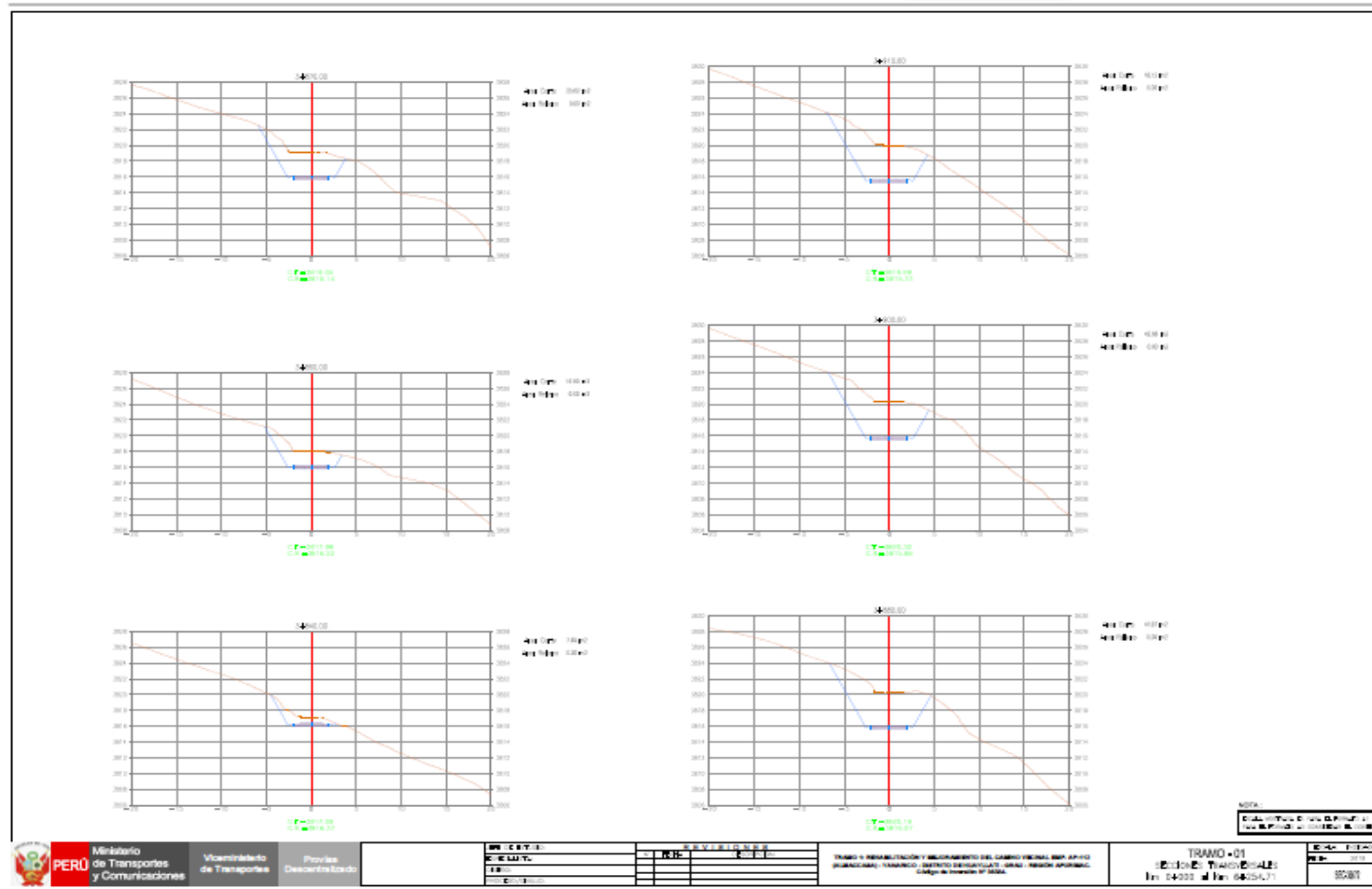
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provincias Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



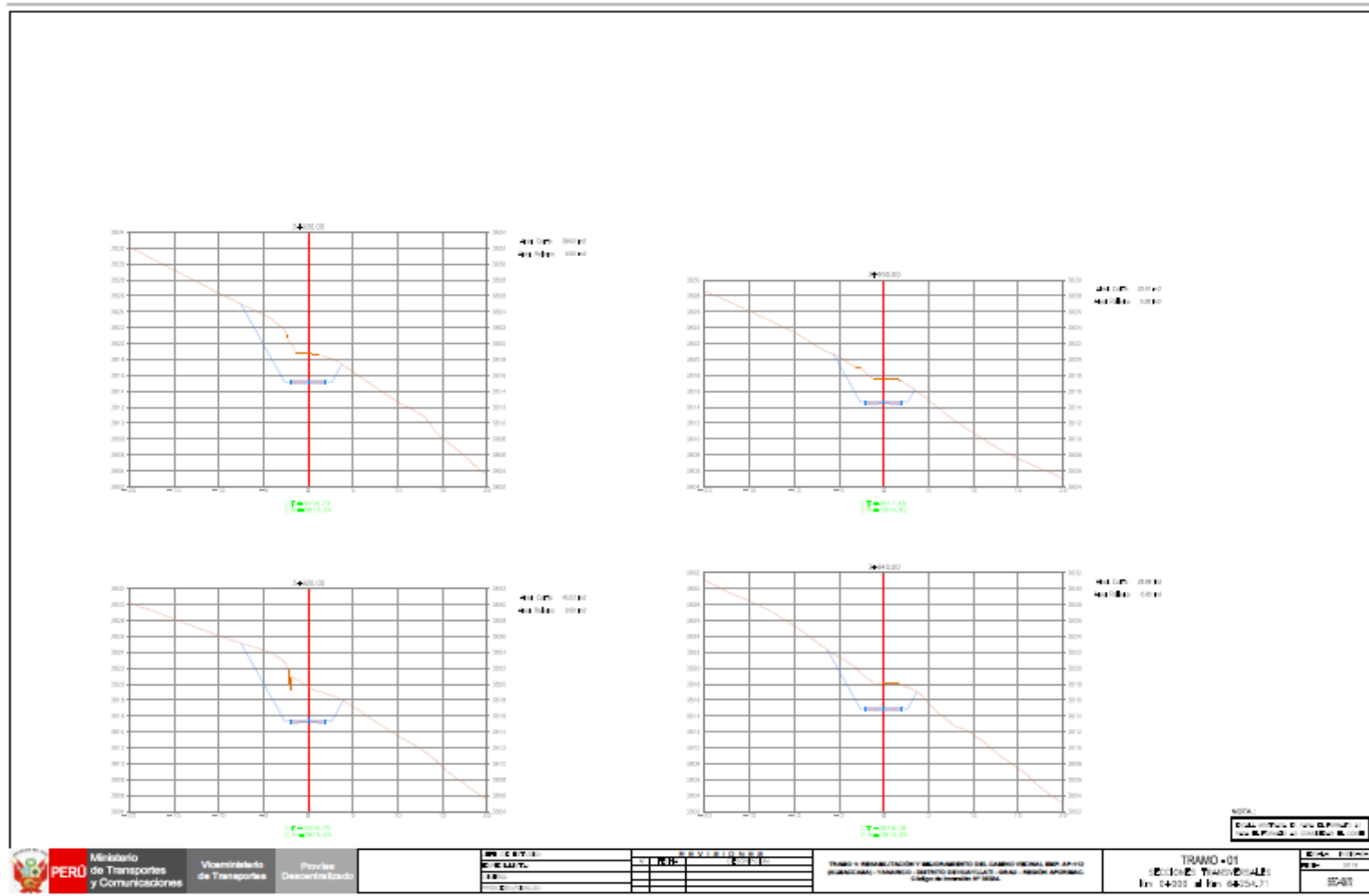
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



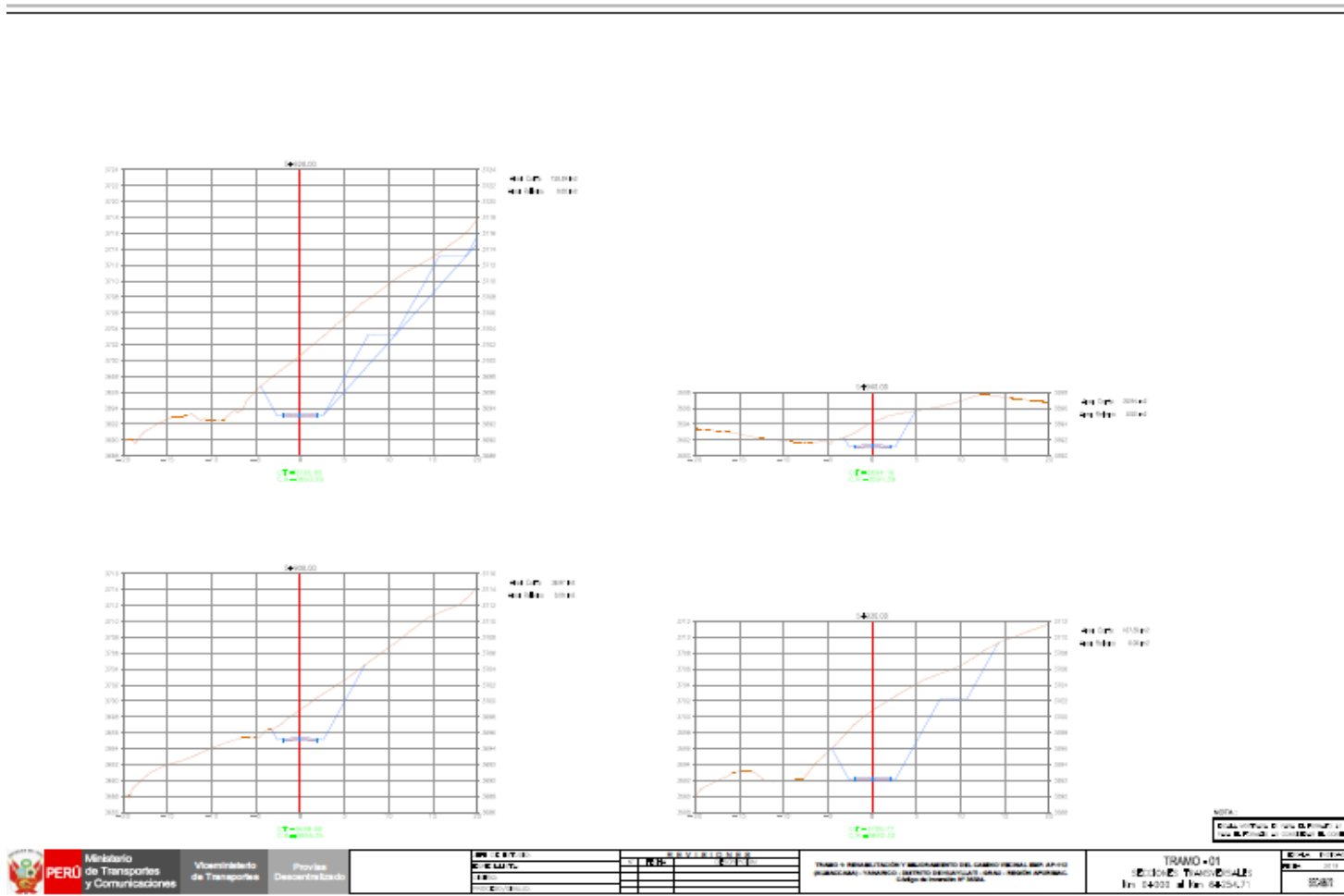
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



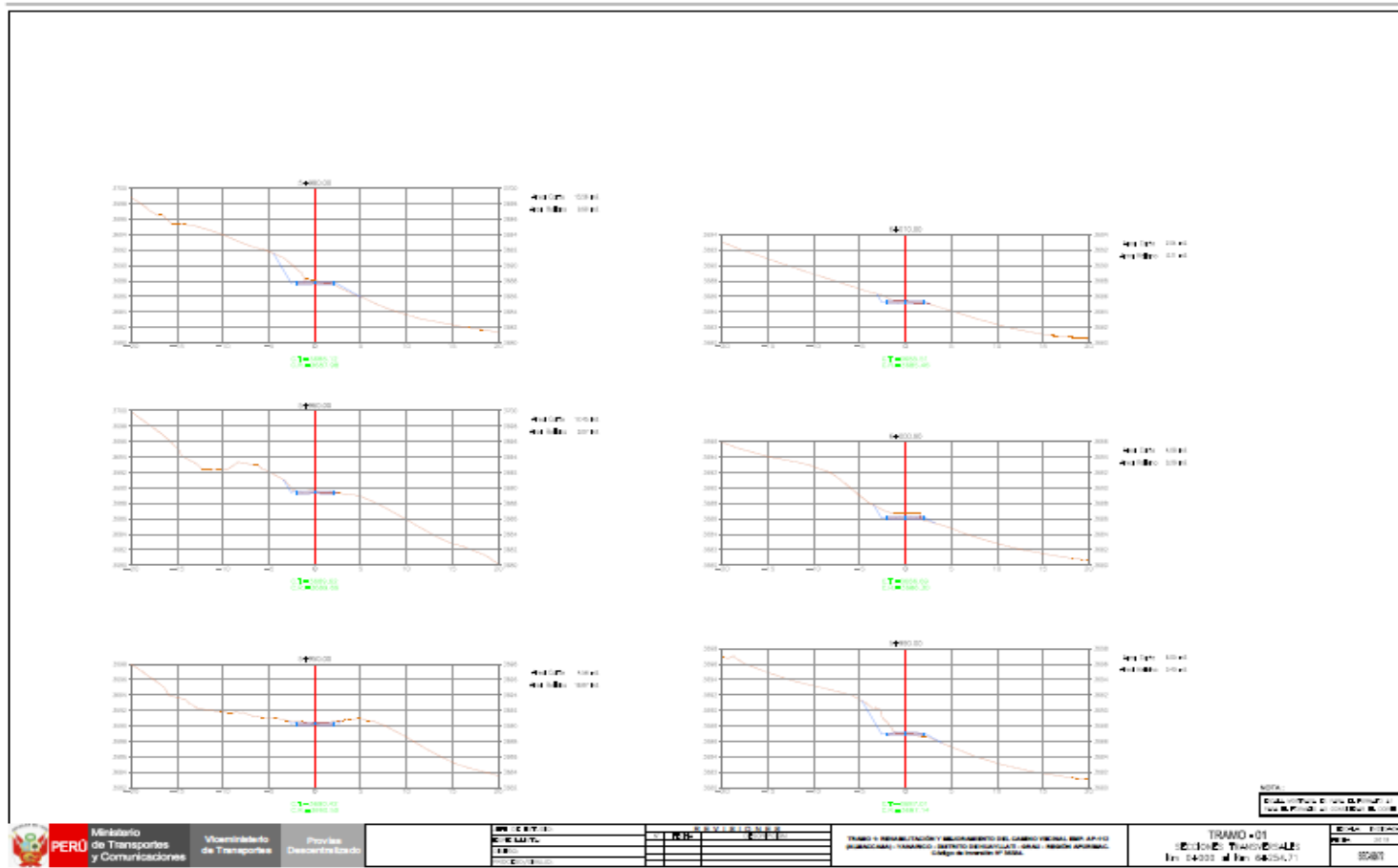
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



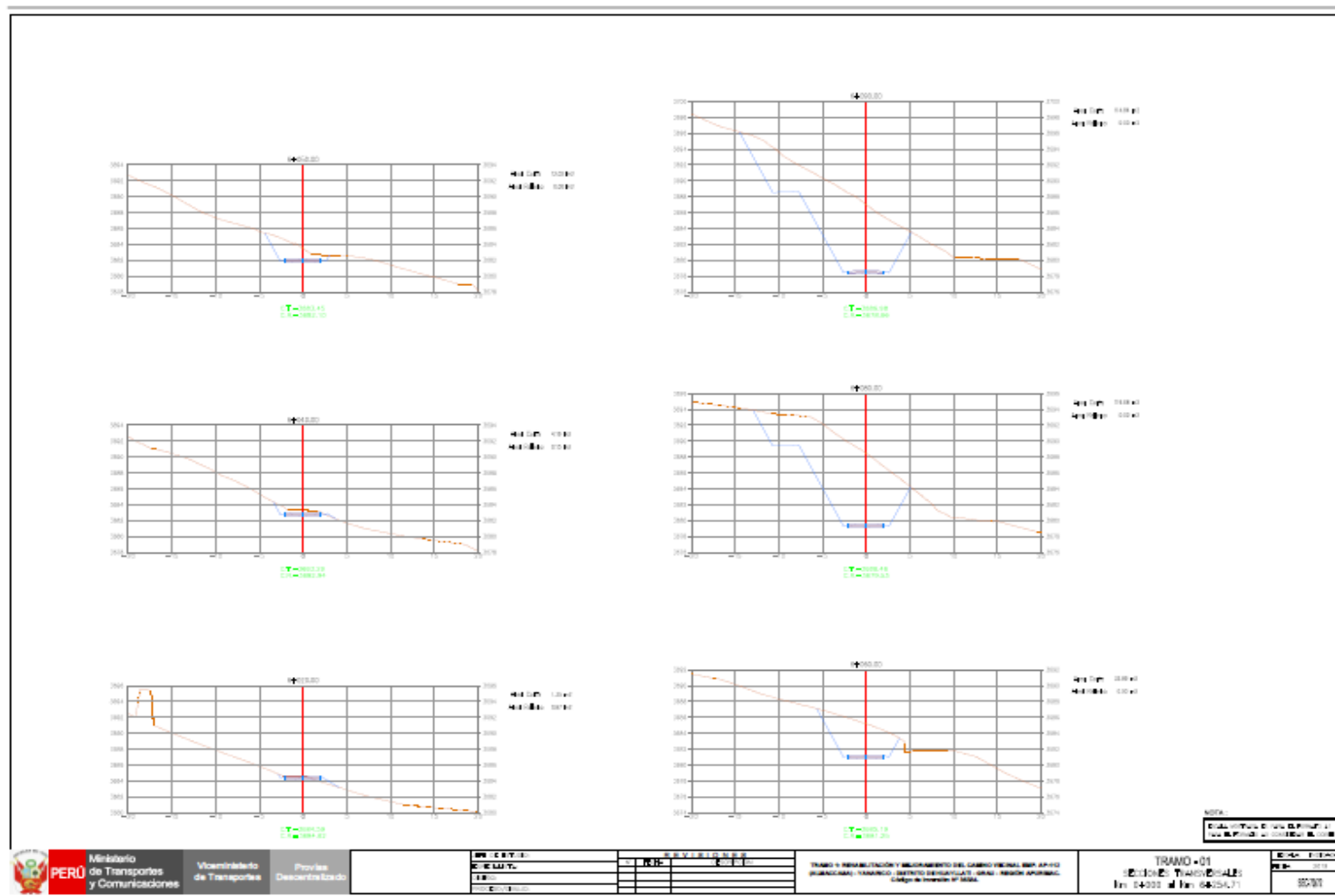
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provincias Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



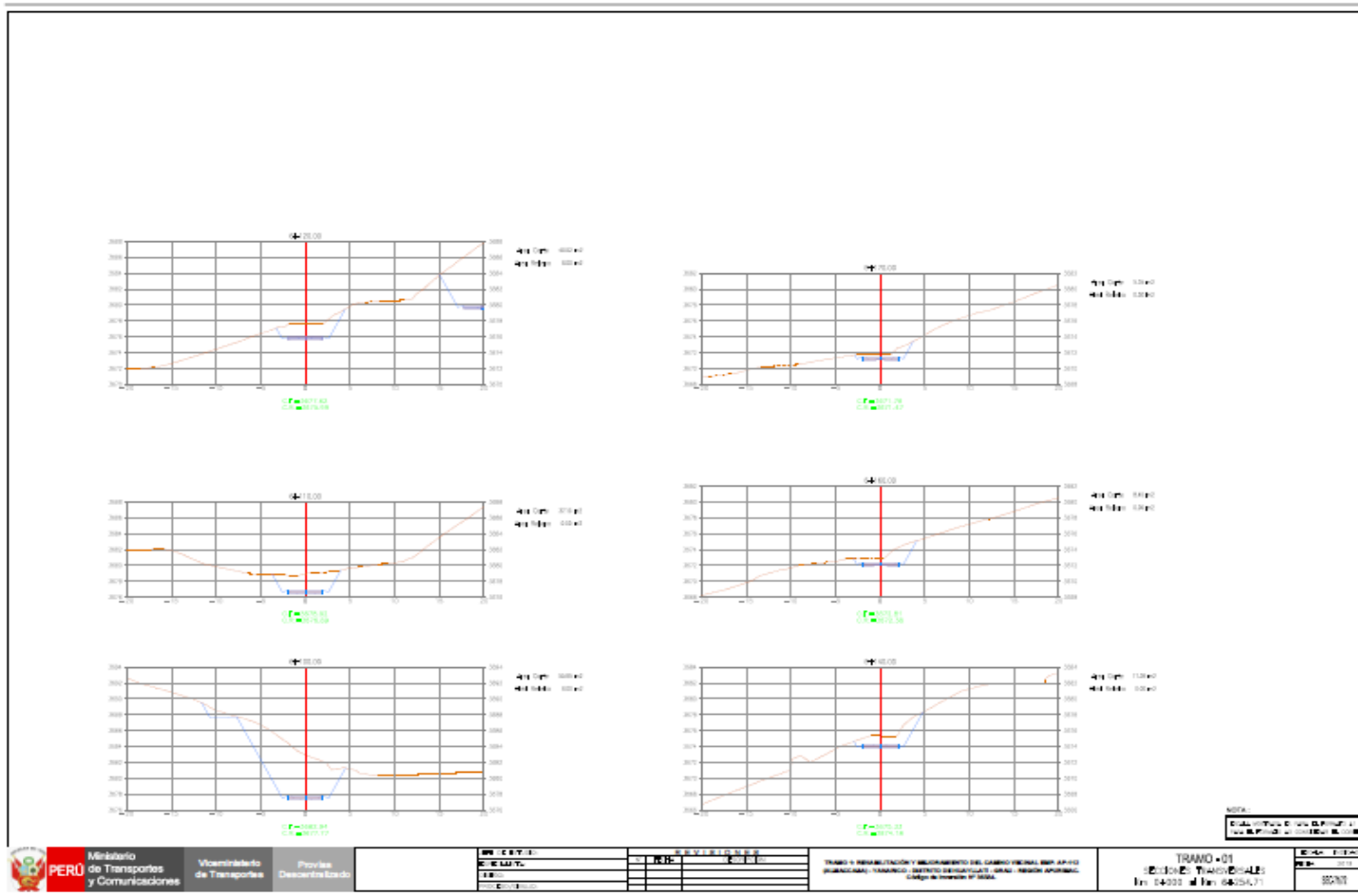
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provincias Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



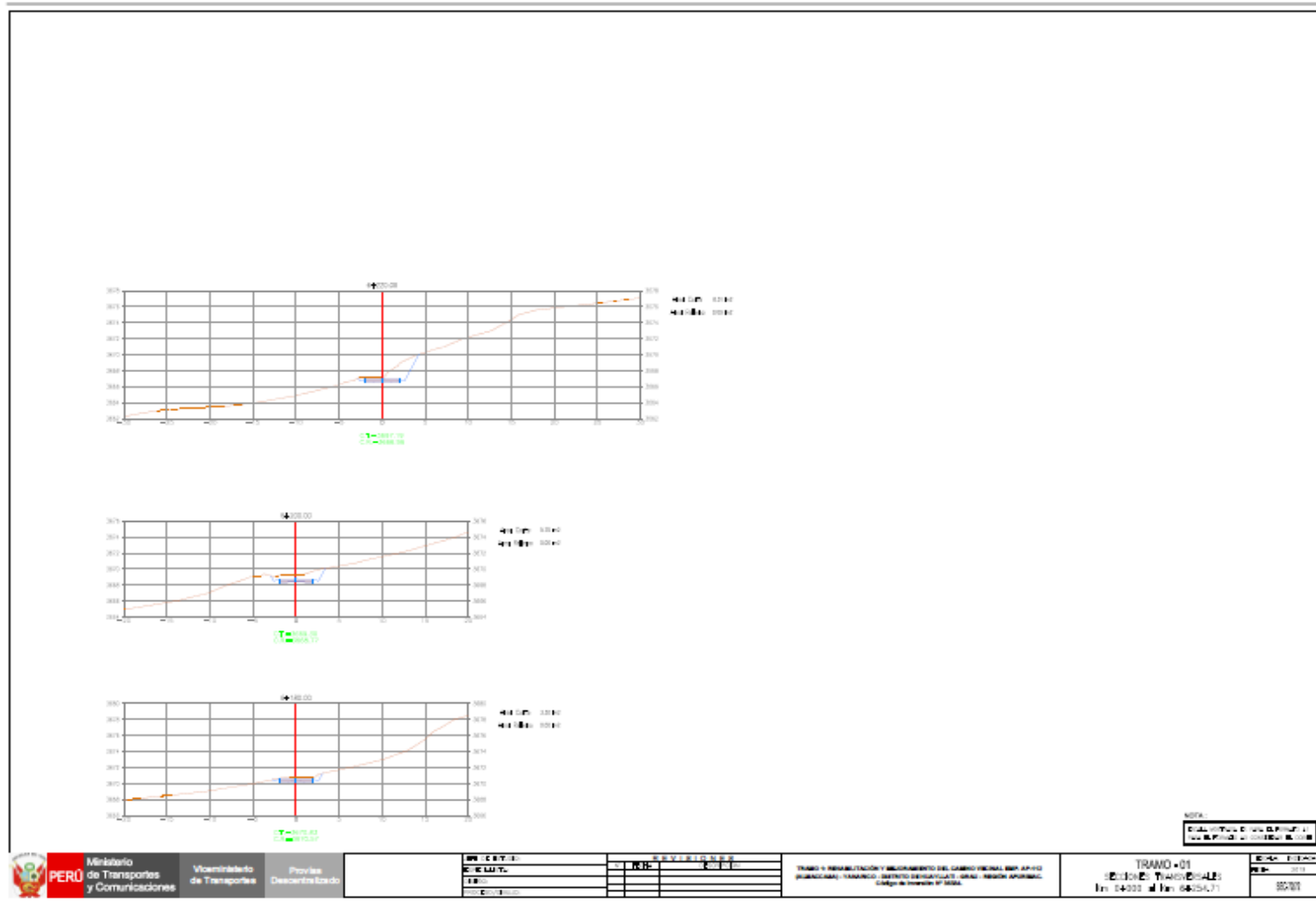
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

Anexo N°05: Secciones transversales del km. 0+000 al km. 6+254.71



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Provías Descentralizado

ANEXO N°06: PUNTOS GEODÉSICOS PARA GEORREFERENCIACIÓN

Anexo N°06: Coordenada UTM: Zona 18 South del tramo 1

TRAMO 1				
UTM				
COORDENADAS UTM: ZONA 18 South				
Item	Nombre	Este	Norte	Altura Elipsoidal
1	MASTER GPS-1A	771608.9045	8455431.4550	4011.454
2	GPS-1B	771666.0485	8455199.3395	4027.293
3	GPS-2A	773847.9789	8456640.3714	3703.065
4	GPS-2B	773878.2713	8456555.8035	3669.334

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Anexo N°06: Coordenadas Geográficas del Tramo 1

TRAMO 1				
COORDENADAS GEOGRÁFICAS				
Item	Nombre	Latitud	Longitud	Altura Geoidal
1	MASTER GPS-1A	S13°57'30.40205"	O72°29'09.80531"	4055.765
2	GPS-1B	S13°57'37.93071"	O72°29'07.82065"	4071.606
3	GPS-2A	S13°56'50.31463"	O72°27'55.67904"	3747.523
4	GPS-2B	S13°56'53.05421"	O72°27'54.64039"	3713.794

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Anexo N°06: Coordenadas UTM: Zona 18 South de Red Primaria

TRAMO 1				
RED PRIMARIA				
COORDENADAS UTM: ZONA 18 South				
Item	Nombre	Este	Norte	Altura Elipsoidal
1	AP01	729538.0351	8491265.677	2419.087
2	MASTER GPS-1A	771608.9045	8455431.4550	4011.454

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Anexo N°06: Coordenadas geográficas de red primaria

TRAMO 1				
RED PRIMARIA				
COORDENADAS GEOGRÁFICAS				
Item	Nombre	Latitud	Longitud	Altura Geoidal
1	AP01	S13°38'18.11254"	O72°52'41.43744"	2461.787
2	MASTER GPS-1ª	S13°57'30.40205"	O72°29'09.80531"	4055.765

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Anexo N°06: Coordenadas UTM: Zona 18 South, punto de control IGN

PUNTO DE CONTROL IGN				
COORDENADAS UTM: ZONA 18 South				
Item	Nombre	Este	Norte	Altura Elipsoidal
1	AP01	729538.0351	8491265.677	2419.087
COORDENADAS GEOGRÁFICAS				
Item	Nombre	Latitud	Longitud	Altura Geoidal
1	AP01	S13°38'18.11254"	O72°52'41.43744"	2461.787

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Anexo N°06: Factores de corrección WGS-84

FACTORES DE CORRECIÓN WGS-84				
Item	Nombre	Factores		
		Escala Proyección	Escala Altura	Escala Combinada
1	MASTER GPS-1A	1.000512704100	0.999364642300	0.999877020700000
2	GPS-1B	1.000513088100	0.999362162400	0.999874923200000
3	GPS-2A	1.000527819100	0.999412901500	0.999940410800000
4	GPS-2B	1.000528024400	0.999418182600	0.999945899700000

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones