

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 DE
LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI –
AEROPUERTO REFERENCIADO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE**

**JOSE LUIS ALVARADO AGUIRRE
FABIAN ANDRES GAMBOA CASTRO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 DE
LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI –
AEROPUERTO REFERENCIADO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE**

**JOSE LUIS ALVARADO AGUIRRE
FABIAN ANDRES GAMBOA CASTRO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR
M.Sc. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^{ro} del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Enero 2012

DEDICATORIA

Al finalizar esta etapa tan importante de la vida siempre contamos con personas importantes y especiales que ayudaron a realizarla.

A Dios, por permitirme seguir luchando todos los días para alcanzar las bendiciones que Él tiene preparado para mí.

A mi madre Luz Marina, que con su amor, cariño, ternura y apoyo incondicional me impulsa a alcanzar metas grandes en mi vida.

A mi padre Daniel Oswaldo, que con su amor, disciplina y consejos hace realidad la consecución de grandes metas.

A mis hermanos, especialmente a Ritha quien gracias a su cariño, confianza, esfuerzo y apoyo incondicional he logrado culminar esta etapa de mi vida.

A Liseth Guancha, que con su cariño, su ternura, sus buenos consejos, su comprensión y compañía hace más agradable la vida y hace realidad el alcanzar muchas metas que sin su apoyo serian más difíciles.

JOSÉ LUIS ALVARADO AGUIRRE

DEDICATORIA

A nuestro señor Jesucristo, por brindarme la oportunidad de alcanzar este logro ya que con sus bendiciones ha hecho que esto sea posible.

A la mujer que más amo, mi madre, que con su dedicación y apoyo incondicional siempre ha estado cuando he necesitado de ella, y gracias a su esfuerzo y amor he logrado culminar esta meta con éxito.

A mi padre Fabián, que siempre inculco en mi disciplina y responsabilidad para ser día a día mejor persona y mejor profesional.

A mi hijo Juan Felipe, que con su llegada llena, mi vida de alegría y es ese motorcito que impulsa cada una de mis actividades. A Lady Guerrero, por brindarme su compañía, darme fortaleza y estar presente en este momento tan memorable en mi vida. A mis hermanas Maritza y Sandra, que con su afecto y consejos han hecho parte indispensable para forjar este objetivo; a mi sobrina Sofía que con su alegría, carisma e inocencia me brinda amor y cariño para lograr esta meta.

A mis educadores que con sus conocimientos y experiencias hicieron que cada día me interesara más por la ingeniería civil y así poder conquistar con éxito esta etapa.

FABIAN ANDRES GAMBOA CASTRO

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a DIOS que hace posible alcanzar nuestras metas; a la Universidad de Nariño por formarnos profesionalmente en la rama de la Ingeniería Civil.

Al Ingeniero Jorge Luis Argoty Burbano, Director del trabajo de grado, por la atención y orientación brindada como docente en el transcurso de nuestra carrera; por su valiosa asesoría, enseñanzas y colaboración en el desarrollo de presente trabajo de grado.

A los docentes del programa de Ingeniería Civil, por contribuir con sus enseñanzas y conocimientos a nuestra formación.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, por la formación profesional, basado en la ética y responsabilidad, que nos brindo durante nuestra etapa como estudiantes.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	26
1. RESULTADOS ESPERADOS.....	34
2. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	35
2.1 GENERALIDADES.....	35
2.2 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 1998 - INVIAS.....	36
2.2.1 Criterios de diseño:	36
2.2.2 Alineamiento horizontal.	37
2.2.3 Alineamiento vertical.	39
2.2.4 Curvas verticales.	40
2.2.5 Sección transversal.	40
2.3 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2008– INVIAS.....	41
2.3.1 Controles para el diseño geométrico:.....	41
2.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera.	43
2.3.3 Diseño en perfil del eje de la carretera.	46
2.3.4 Diseño de la sección transversal de la carretera.	46
3. DESARROLLO DEL TRABAJO	49
3.1 GENERALIDADES.....	49
3.1.1 Localización y descripción del trayecto 5.	49
3.1.2 Alineamiento horizontal:	49
3.1.2.1 Descripción curvas horizontales	49
3.1.2.2 Descripción entretangencias horizontales	51
3.1.3 Alineamiento vertical	52

3.1.3.1	Descripción curvas verticales.	52
3.1.3.2	Descripción entretangencias verticales.	53
3.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998	54
3.2.1	Controles para el diseño geométrico:.....	55
3.2.1.1	Velocidad de diseño.	55
3.2.1.2	Vehículo de diseño.	61
3.2.1.3	Distancias de visibilidad.	62
3.2.1.4	Evaluación de la visibilidad en planos.	67
3.2.2	Diseño en planta del eje de la carretera:.....	75
3.2.2.1	Curvas horizontales.	
3.2.3	Diseño vertical.	107
3.2.3.1	Pendiente.	107
3.2.3.2	Longitud crítica.	110
3.2.3.3	Curvas verticales.	112
3.2.4	Sección transversal.	117
3.2.4.1	Elementos.	117
3.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008	130
3.3.1	Controles para el diseño geométrico:.....	130
3.3.1.1	Velocidad de diseño.	130
3.3.2.2	Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}).	131
3.3.1.4	Distancia de visibilidad.	154
3.3.2	Diseño en planta del eje de la carretera.....	160
3.3.2.1	Curvas horizontales.	160
3.3.3	Diseño vertical.....	190
3.3.3.1	Pendiente:	190
3.3.3.2	Longitud mínima y máxima de tangentes verticales:.....	194
3.3.3.3	Determinación de la longitud de la curva vertical.	197
3.3.4	Sección transversal:	202

3.3.4.1	Elementos geométricos de la sección transversal.	202
3.4	ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO A MANUALES AÑOS 1998 Y 2008. CUADRO COMPARATIVO- PORCENTUAL PRINCIPALES PARÁMETROS	207
4.	CONCLUSIONES.....	209
5.	RECOMENDACIONES	216
	BIBLIOGRAFIA	217
	ANEXOS	220

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Descripción trayecto 5.....	49
Tabla 2. Descripción curvas horizontales T5-1.....	50
Tabla 3. Descripción curvas horizontales T5-2.....	50
Tabla 4. Descripción curvas horizontales T5-3.....	51
Tabla 5. Descripción entretangencias horizontales T5-1.....	51
Tabla 6. Descripción entretangencias horizontales T5-2.....	52
Tabla 7. Descripción entretangencias horizontales T5-3.....	52
Tabla 8. Descripción curvas verticales T5-1.....	53
Tabla 9. Descripción curvas verticales T5-2.....	53
Tabla 10. Descripción entretangencias verticales T5-1.....	54
Tabla 11. Descripción entretangencias verticales T5-2.....	54
Tabla 12. Tipo de terreno.	55
Tabla 13. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima-tipo de terreno T5-1.	56
Tabla 14. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima-tipo de terreno T5-2.	58
Tabla 15. Pendiente transversal - tipo de terreno T5-3.	60
Tabla 16. Porcentajes tipo de terreno-terreno predominante.	60
Tabla 17. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.....	61
Tabla 18. Coeficiente de fricción longitudinal para pavimentos húmedos.	63
Tabla 19. Distancia de visibilidad de parada en perfil T5-1 (Vd real de diseño).....	64
Tabla 20. Distancia de visibilidad de parada en perfil T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).....	64
Tabla 21. Distancia de visibilidad de parada en perfil T5-2 (Vd real de diseño).....	65

Tabla 22.	Distancia de visibilidad de parada en perfil T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).....	65
Tabla 23.	Curvas verticales convexas trayecto 5 que no cumplen DVP mínima.....	65
Tabla 24.	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos.	66
Tabla 25.	Distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente 0% ..	68
Tabla 26.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-1 (Vd real de diseño).....	68
Tabla 27.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).....	69
Tabla 28.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-2 (Vd real de diseño).....	69
Tabla 29.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).	70
Tabla 30.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-3 (Vd real de diseño).....	70
Tabla 31.	Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-3 (Vd teórica mínima de diseño).....	70
Tabla 32.	Curvas trayecto 5 no cumplen da mínima.	71
Tabla 33.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-1 (Vd real de diseño).....	71
Tabla 34.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).	72
Tabla 35.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-2 (Vd real de diseño).....	73
Tabla 36.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).	73
Tabla 37.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-3 (Vd real de diseño).....	74

Tabla 38.	Distancia de visibilidad de parada en planta T5-3 (Vd teórica mínima de diseño).....	74
Tabla 39.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen DVP mínima.....	74
Tabla 40.	Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de velocidad específica.	76
Tabla 41.	Chequeo radios mínimos absolutos T5-1.	77
Tabla 42.	Chequeo radios mínimos absolutos T5-2.	78
Tabla 43.	Chequeo radios mínimos absolutos T5-3.	78
Tabla 44.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen radio mínimo.	79
Tabla 45.	Chequeo sobreebanco curvas horizontales T5-1.	80
Tabla 46.	Chequeo sobreebanco curvas horizontales T5-2.	81
Tabla 47.	Chequeo sobreebanco curvas horizontales T5-3.	81
Tabla 48.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen sobreebanco mínimo y sobreebanco que constructivamente no aplica.	82
Tabla 49.	Chequeo flecha m curvas horizontales T5-1.	83
Tabla 50.	Chequeo flecha m curvas horizontales T5-2.	84
Tabla 51.	Chequeo flecha m curvas horizontales T5-3.	84
Tabla 52.	Chequeo longitud circular mínima T5-1.....	86
Tabla 53.	Chequeo longitud circular mínima T5-2.....	87
Tabla 54.	Chequeo longitud circular mínima T5-3.....	87
Tabla 55.	Curvas horizontales con empalme E-C-E trayecto 5 No cumplen longitud circular mínima.....	88
Tabla 56.	Chequeo deflexión Δt y ángulo Θ_e T5-1.....	88
Tabla 57.	Curvas horizontales con empalme E-E trayecto 5 no cumplen con deflexiones máximas.	88
Tabla 58.	Chequeo longitud espiral Lemin y Lemax (velocidad real de diseño) T5-1.	91
Tabla 59.	Chequeo longitud espiral Lemin y Lemax (velocidad real de diseño) T5-2.	92

Tabla 60.	Chequeo longitud espiral Lemin y Lemax (velocidad real de diseño) T5-3.	92
Tabla 61.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud de espiral Le...	92
Tabla 62.	Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T5-1.....	94
Tabla 63.	Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T5-2.....	95
Tabla 64.	Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T5-3.....	95
Tabla 65.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen peralte asociado a velocidad especifica.	95
Tabla 66.	Longitud de transición T5-1.....	97
Tabla 67.	Longitud de transición T5-2.....	98
Tabla 68.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud de transición...	98
Tabla 69.	Rampa de peralte T5-1 (Vd real de diseño).	99
Tabla 70.	Rampa de peralte T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).	100
Tabla 71.	Rampa de peralte T5-2 (Vd real de diseño).	101
Tabla 72.	Rampa de peralte T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).	101
Tabla 73.	Rampa de peralte T5-3 (Vd real de diseño).	102
Tabla 74.	Rampa de peralte T5-3 (Vd teórica mínima de diseño).	102
Tabla 75.	Curvas horizontales trayecto 5 No cumplen rampa de peralte.	102
Tabla 76.	Entretangencia horizontal T5-1 (Vd real de diseño).	103
Tabla 77.	Entretangencia horizontal T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).	104
Tabla 78.	Entretangencia horizontal T5-2 (Vd real de diseño).	105
Tabla 79.	Entretangencia horizontal T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).	105
Tabla 80.	Entretangencia horizontal T5-3 (Vd real de diseño).	106
Tabla 81.	Entretangencia horizontal T5-3 (Vd Teórica mínima de diseño).	106
Tabla 82.	Entretangencias horizontales trayecto 5 no cumplen entretangencia.	106
Tabla 83.	Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño.	108
Tabla 84.	Pendiente diseño vertical T5-1.	109
Tabla 85.	Pendiente diseño vertical T5-2.	109
Tabla 86.	Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen pendiente.....	110

Tabla 87.	Longitud crítica de pendiente T5-1.	111
Tabla 88.	Longitud crítica de pendiente T5-2.	112
Tabla 89.	Longitud mínima curvas verticales T5-1 (Vd real de diseño).....	115
Tabla 90.	Longitud mínima curvas verticales T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).....	115
Tabla 91.	Longitud mínima curvas verticales T5-2 (Vd real de diseño).....	116
Tabla 92.	Longitud mínima curvas verticales T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).....	116
Tabla 93.	Curvas verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima.....	117
Tabla 94.	Anchos de zona mínimos	118
Tabla 95.	Ancho de zona sección transversal T5-1.....	119
Tabla 96.	Ancho de zona sección transversal T5-2.....	120
Tabla 97.	Ancho de zona sección transversal T5-3.....	120
Tabla 98.	Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de zona.....	121
Tabla 99.	Bombeo de la calzada	122
Tabla 100.	Ancho recomendado para calzada.	123
Tabla 101.	Ancho de calzada teórico trayecto 5.....	124
Tabla 102.	Ancho de calzada entretangencias T5-1.	124
Tabla 103.	Ancho de calzada entretangencias T5-2.	125
Tabla 104.	Ancho de calzada entretangencias T5-3.	125
Tabla 105.	Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de calzada.	126
Tabla 106.	Ancho recomendado para bermas.	127
Tabla 107.	Ancho de berma teórico trayecto 5.....	128
Tabla 108.	Ancho de berma sección transversal T5-1.	128
Tabla 109.	Ancho de berma sección transversal T5-2.	129
Tabla 110.	Ancho de berma sección transversal T5-2.	129
Tabla 111.	Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de berma.	130
Tabla 112.	Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno”	131
Tabla 113.	Asignación de velocidad por tramos homogéneos (Trayecto 5).....	132

Tabla 114.	Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} real de diseño	132
Tabla 115.	Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} teórica mínima de diseño	132
“Tabla 116.	Velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño (V_{TR})”	134
“Tabla 117.	Diferencia entre la velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en km/h”	135
Tabla 118.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 desde K0 + 000 hasta K10 + 600.	136
Tabla 119.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 desde K10 + 600 hasta K0 + 000.	137
Tabla 120.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 definitiva.	138
Tabla 121.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 desde K0 + 000 hasta K10 + 600	139
Tabla 122.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 desde K10 + 600 hasta K0 + 000.	140
Tabla 123.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 definitiva.	141
Tabla 124.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 desde K10 + 600 hasta K18 + 400.	141
Tabla 125.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 desde K18 + 400 hasta K10 + 600.	142
Tabla 126.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 definitiva.	142
Tabla 127.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2 desde K10 + 600 hasta K18 + 400.	143
Tabla 128.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2 desde K18 + 400 hasta K10 + 600.	143
Tabla 129.	Asignación V_{CH} para V_{TR} Teórica Mínima de diseño T5-2 definitiva.	144

Tabla 130.	Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-3 definitiva.	144
Tabla 131.	Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3 definitiva.	144
Tabla 132.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-1.....	146
Tabla 133.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.	147
Tabla 134.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-2.....	147
Tabla 135.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.	148
Tabla 136.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-3.....	148
Tabla 137.	Asignación de V_{ETH} para V_{TR} Teórica mínima de diseño T5-3.....	148
Tabla 138.	Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T5-1.	149
Tabla 139.	Asignación de V_{CV} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	150
Tabla 140.	Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T5-2.	150
Tabla 141.	Asignación de V_{CV} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	151
Tabla 142.	Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T5-1.....	152
Tabla 143.	Asignación (V_{TV}) para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.	152
Tabla 144.	Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T5-2.....	153
Tabla 145.	Asignación (V_{TV}) para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.	153
Tabla 146.	Principales características del vehículo de diseño.	154
Tabla 147.	Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T5-1.	157
Tabla 148.	Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	158
Tabla 149.	Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T5-2.	158
Tabla 150.	Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.....	158
Tabla 151.	Curvas verticales convexas trayecto 5 no cumplen D_p mínima.	159
Tabla 152.	Radios Mínimos para Peralte Máximo $e_{m\acute{a}x} = 8 \%$ y Fricción Máxima”.....	161
Tabla 153.	Chequeo radios mínimos T5-1.	162

Tabla 154.	Chequeo radios mínimos T5-2.	162
Tabla 155.	Chequeo radios mínimos T5-3.	163
Tabla 156.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen radio de curvatura mínimo.....	163
Tabla 157.	Variación de la aceleración centrífuga (J).”	164
Tabla 158.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-1.	165
Tabla 159.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	165
Tabla 160.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-2.	166
Tabla 161.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.....	166
Tabla 162.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-3.	167
Tabla 163.	Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.....	167
Tabla 164.	Curvas horizontales trayecto 5 No cumplen longitud Espiral Le mín y Le máx.	167
Tabla 165.	Valor de C en función del ancho de la calzada.	169
Tabla 166.	Dimensiones vehículo articulado para sobreancho de calzada.”	170
Tabla 167.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-1 V_{TR} real de diseño.	171
Tabla 168.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.	172
Tabla 169.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-2 V_{TR} real de diseño.	173
Tabla 170.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.....	174

Tabla 171.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-3 V_{TR} real de diseño.	174
Tabla 172.	Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-3 V_{TR} teórica mínima de diseño.....	175
Tabla 173.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen sobreancho mínimo vehículos articulados.	175
Tabla 174.	Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	176
Tabla 175.	Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} Teórica mínima de diseño T5-2.....	177
Tabla 176.	Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.....	177
Tabla 177.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud circular mínima.....	177
“Tabla 178.	Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x} = 8 \%$ y fricción máxima.”	180
Tabla 179.	Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-1.	181
Tabla 180.	Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.....	182
Tabla 181.	Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-2.	182
Tabla 182.	Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.....	183
Tabla 183.	Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-3.	183
Tabla 184.	Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.....	183
Tabla 185.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen peralte.....	184
Tabla 186.	Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas.	185
Tabla 187.	Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m).”	185
Tabla 188.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-1 V_{TR} real de diseño.	187

Tabla 189.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.	187
Tabla 190.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-2 V_{TR} real de diseño.	188
Tabla 191.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.	188
Tabla 192.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-3 V_{TR} real de diseño.	189
Tabla 193.	Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-3 V_{TR} teórica mínima de diseño.	189
Tabla 194.	Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen relación entre radios de curvas contiguas.....	190
Tabla 195.	Relación entre la pendiente máxima (%) y la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}).....	191
Tabla 196.	Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T5-1.....	192
Tabla 197.	Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.	192
Tabla 198.	Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T5-2.....	193
Tabla 199.	Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.	193
Tabla 200.	Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen pendiente máxima y mínima.....	194
Tabla 201.	Longitud mínima de la tangente vertical.”.....	194
Tabla 202.	Longitud mínima entretangencias verticales T5-1 V_{TR} real de diseño.....	195
Tabla 203.	Longitud mínima entretangencias verticales T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.....	195

Tabla 204.	Longitud mínima entretangencias verticales T5-2 V_{TR} real de diseño.....	196
Tabla 205.	Longitud mínima entretangencias verticales T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.	196
Tabla 206.	Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima.	196
Tabla 207.	Valores de $K_{mín}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales.....	198
Tabla 208.	Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-1 V_{TR} real de diseño.....	200
Tabla 209.	Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.	201
Tabla 210.	Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-2 V_{TR} real de diseño.....	201
Tabla 211.	Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.	201
Tabla 212.	Curvas verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima y máxima.....	202
Tabla 213.	Ancho de calzada (metros)."	204
Tabla 214.	Porcentajes de tipo de terreno - terreno predominante.	204
Tabla 215.	Bombeo de la calzada."	205
Tabla 216.	Ancho de bermas.	206
Tabla 217.	Cuadro comparativo-porcentual principales parámetros.	207

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sección Transversal Típica.	40
Figura 2. Sección Transversal Típica	118
Figura 3. Sección Transversal Típica para Carretera Principal de Una Calzada	202

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Longitudes y Parámetros Mínimos - Curvas Verticales Convexas.	113
Gráfica 2. Longitudes y Parámetros Mínimos - Curvas Verticales Cóncavas.	114

RESUMEN

Hoy por hoy en el departamento de Nariño, una de las obras en ejecución más importantes es la Variante “RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AEROPUERTO”, la cual viene acompañada de significativos cambios al departamento, con el presente trabajo se efectúa un análisis a nivel comparativo del Diseño presentado por DEVINAR S.A. del trayecto 5, con base en el manual de año 1998 y el diseño que pudiese haberse efectuado con base en la normatividad vigente (año 2008), con este análisis se pretenden generar conclusiones y algunas recomendaciones respecto al diseño presentado, pero de ninguna manera se constituye en un diseño opcional, ya que el análisis a desarrollar se efectúa con base en parámetros importantes que caracterizan el diseño y de los cuales se cuenta con información suficiente para un adecuado análisis.

El presente trabajo escrito en el desarrollo, resume y describe el fundamento teórico, acompañado del procedimiento de análisis para uno de los trayectos en estudio que constituyen el trayecto 5, esto para cada parámetro objeto de análisis, al finalizar se presentan algunas conclusiones y recomendaciones, al igual que gráficos estadísticos comparativos de los parámetros más importantes y sobre planos se indica como anexo puntos críticos del diseño. Lo anterior se efectúa tanto para velocidad real de diseño (velocidad con la que fue efectuado el diseño) como para velocidad teórica mínima de diseño (velocidad que por condiciones bajo las cuales se desarrolla el proyecto debería haberse escogido con base en lo expuesto en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras).

ABSTRACT

Today in the department of Nariño, one of the works in more important execution is the Variant "RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AEROPUERTO", which comes accompanied by significant changes to the department, herewith work is made an analysis at comparative level of the Design presented by DEVINAR S.A. of the TRAYECTO 5, with base in the year manual 1998 and the design that can be had actual with base in the effective norms (year 2008), with this analysis it is sought to generate summations and some recommendations regarding the presented design, but in no way it is constituted in an optional design, since the analysis to be developed makes with base in important parameters that characterize the design and of which it is had enough information for an appropriate analysis.

The present work written in the development, summarizes and it describes the theoretical foundation, accompanied by the analysis procedure for one of the itineraries in study that you/they constitute the TRAYECTO 5, this for each parameter analysis object, when being concluded presents some summations and recommendations, the same as comparative statistical graphics of the most important parameters and on planes it is indicated like annexed critical points of the design. The above-mentioned is made so much for real speed of design (speed with which the design was made) like it stops minimum theoretical speed of design (speed that for conditions under which the project is developed should be had chosen with base in that exposed in the Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras).

INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico, es quizá la etapa más importante en el desarrollo de un proyecto vial ya que proporciona una idea concreta de lo que será la carretera y éste se debe ceñir a un conjunto de normas vigentes establecidas para tal fin, con el objetivo de satisfacer al máximo la demanda de transporte garantizando su funcionalidad, su eficiencia, su seguridad y otros aspectos importantes de ella.

En la presente investigación aplicada, se realizará un análisis comparativo del diseño geométrico del **“TRAYECTO 5. DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO”** planteado por la concesión vial DESARROLLO VIAL DE NARIÑO - DEVINAR S.A. referenciado a los **Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998 y 2008 del INVIAS**, se estudiarán los *controles para el diseño geométrico como: velocidad de diseño, vehículo de diseño, distancias de visibilidad; el diseño en planta y perfil del eje de la carretera* junto con sus respectivos elementos y *el diseño de la sección transversal de la carretera* en conjunto con los componentes que la conforman.

El diseño geométrico propuesto por DEVINAR S.A. que entregó para su verificación en agosto de 2010 está basado en el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras del año 1998 del INVIAS.

Finalmente, dependiendo de las inconsistencias que se identifiquen con el análisis comparativo referente a la normatividad vigente del Diseño Geométrico de Carreteras, se planteará recomendaciones y sugerencias en los sectores que así lo requieran.

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Alcance y delimitación:

En la presente investigación, denominada **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI – AEROPUERTO”** se estudiará y analizará el diseño geométrico. En dicho estudio no se tendrá en cuenta el corredor de ruta donde se encuentra dicho trazado. Esto debido a que no se dispone de información detallada de la parte geotécnica y de taludes.

Mediante el estudio y análisis del trazado geométrico existente, se verificará que los elementos que integran el diseño geométrico cumplan con los requisitos mínimos y máximos propuestos por el INVIAS en su **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008**. Para los sectores que no cumplan con la

normatividad vigente se propondrá sugerencias o recomendaciones como alternativas de solución.

Esta investigación abarcará el estudio y análisis de los siguientes parámetros que componen el diseño geométrico:

A. Controles para el diseño geométrico

- Velocidad de diseño
- Vehículo de diseño
- Distancias de visibilidad

B. Diseño en planta del eje de la carretera

- Curvas horizontales
- Transición del peralte
- Curvas espirales
- Entretangencia horizontal
- Relación entre los radios de curvas horizontales contiguas

C. Diseño en perfil del eje de la carretera

- Tangente vertical
- Curvas verticales

D. Diseño de la sección transversal de la carretera

- Ancho de zona o derecho de vía
- Corona (Calzada y Berma)
- Sobreancho en las curvas
- Valor de la flecha (m) para proveer la distancia de visibilidad de parada en curva

Debido a que la información con que se cuenta es limitada, esta investigación aplicada no comprenderá:

- *Diseñar y/o verificar la estructura de pavimento.*
- *Verificar el ángulo de inclinación y/o la estabilidad de taludes.*
- *Elaborar un trazado nuevo de la vía.*
- *Verificar y diseñar obras de drenaje.*
- *Verificar y diseñar obras de contención.*

Modalidad:

Investigación Aplicada

Área:

Área de Vías y Transporte

Línea de investigación:

Diseño Geométrico de Carreteras primarias, secundarias y terciarias del Departamento de Ingeniería Civil.

PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO**Descripción del problema:**

La investigación “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO” referenciado a la normatividad vigente hace parte quizá, de la construcción en infraestructura vial de mayor importancia que se está adelantando en el departamento de Nariño y por ende requiere el estudio y análisis comparativo de diseño geométrico referenciado a los **Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998 y 2008** con el fin de identificar el cumplimiento de las exigencias mínimas con las cuales debería diseñarse dicha vía.

Teniendo en cuenta que la “CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO”, realizó los diseños geométricos del “TRAMO 5” referenciados al **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998** y que este trayecto está influenciado por factores como topografía, hidrología, geología, etc. que hacen del diseño geométrico de mayor cuidado y profesionalismo, posiblemente existan discrepancias con la norma vigente por lo cual se requiere el estudio detallado de todos y cada uno de los elementos que conforman el diseño geométrico, de tal manera que cumplan con la normatividad actual con la finalidad de brindar al usuario un tránsito cómodo, seguro, económico y eficiente.

Formulación del problema:

¿El diseño geométrico existente (*los controles para el diseño geométrico, el diseño en planta y perfil del eje de la carretera y el diseño de la sección transversal*) del “TRAYECTO 5 propuesto por la “CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA –

PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO” cumplen con las exigencias mínimas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del año 2008?

OBJETIVOS

Objetivo general:

VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS MEDIANTE ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE NORMAS COMPRENDIDAS DE LOS AÑOS 1998 Y 2008 DEL PROYECTO VARIANTE RUMICHACA - PASTO – CHACHAGÜI – AEROPUERTO _ TRAYECTO 5.

Objetivos específicos:

- ✓ Revisar el cumplimiento de los parámetros para diseño geométrico horizontal del TRAYECTO 5 de acuerdo a la normatividad para el Diseño Geométrico de Carreteras expedida por el INVIAS en los años 1998 y 2008.
- ✓ Revisar el cumplimiento de los parámetros para diseño geométrico vertical del TRAYECTO 5 de acuerdo a la normatividad para el Diseño Geométrico de Carreteras expedida por el INVIAS en los años 1998 y 2008.
- ✓ Revisar el diseño de la sección transversal del TRAYECTO 5 de acuerdo a la normatividad para el Diseño Geométrico de Carreteras expedida por el INVIAS en los años 1998 y 2008.
- ✓ Efectuar un análisis comparativo con base en los resultados obtenidos en etapas anteriores del diseño existente con las normas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008.
- ✓ Plantear recomendaciones y sugerencias en tramos del proyecto diseñado, que contribuyan a la optimización del diseño.
- ✓ Presentar en forma ordenada y coherente los aspectos básicos e indispensables para realizar el análisis comparativo del proyecto.
- ✓ Elaborar, presentar y sustentar técnicamente el análisis comparativo del proyecto en planta, en perfil y sección transversal de acuerdo a la normatividad de los años 1998 y 2008.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de comunicarse desde la ciudad de San Juan de Pasto hacia otras poblaciones, obligan a generar un estudio objetivo y completo sobre la estructura vial existente, que conlleve a una modernización de ésta para la mejora en los tiempos de recorrido, mayor seguridad, economía y comodidad en la marcha; en general San Juan de Pasto cuenta con vías de acceso a la ciudad cuyo estado no están en las mejores condiciones, esto desde el punto de vista geométrico y todo lo que ello conlleva, al igual que su estado de la estructura del pavimento genera inconvenientes e incomodidades para el usuario.

Actualmente, el diseño geométrico de Carreteras en el país se encuentra regido por el manual expedido por el INVIAS. Este ha sufrido variaciones en los últimos años que ha conllevado por lo tanto a cambios respecto a los controles y parámetros de diseño de las carreteras, consecuentemente es importante ejecutar un análisis exhaustivo de los beneficios o perjuicios de tales cambios, ello se realizará dentro del desarrollo de este trabajo de grado tomándolo desde el punto de vista aplicativo, es decir, con respecto a un proyecto muy conocido en el medio como lo es la concesión variante RUMICHACA - PASTO - CHACHAGUI - AEROPUERTO.

Los controles y parámetros de diseño son la base del diseño geométrico de una carretera, y son de vital importancia para asegurar que el diseño geométrico de esta cumpla con sus funciones de manera adecuada, con lo cual desde el punto de vista geométrico es necesario generar un diseño con condiciones óptimas, especialmente en cuanto se refiere a tiempos de recorrido que gastaría el usuario al desplazarse desde una población a otra y la comodidad dentro de los parámetros geométricos que presente la vía, como lo es el caso de las curvas con radio de giro y entretangencias muy cortas con respecto a otra curva. Mejorando las condiciones en los tiempos de recorrido y comodidad, lo cual se reflejaría en una menor accidentabilidad y mayor economía.

El problema que se está planteando hoy en día en las ciudades es el tránsito rápido, con superficies y curvas adecuadas, separación de direcciones de tránsito y cruces a distinto nivel, como alternativas para lograr la rapidez deseada, lo que genera la posibilidad de la ejecución de estudios exhaustivos para un buen diseño geométrico, el cual implica no solo una aplicación de la normatividad existente, sino que se profundice un estudio en ella con el fin de poder determinar que lo planteado en éstas conllevan a generar diseños apropiados.

Por último, la ciudad de San Juan de Pasto no es la excepción a las tendencias de desarrollo, con índices de crecimiento en cuanto a población y aspectos generales del progreso, que muestran su avance creciente para convertirse en un centro poblacional importante.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo y posterior cumplimiento de los objetivos planteados, este trabajo se basará en el análisis y recopilación de información existente en cuanto a este diseño se refiere, empleando normas para Diseño Geométrico de Carreteras expedidas por el Instituto Nacional de Vías _INVIAS en los años de 1998 y 2008.

Se hará uso de herramientas del conocimiento de asignaturas como Dibujo, Geometría Descriptiva, Topografía, Geología, Geotecnia y conjugarlos para determinar puntos de control y aspectos importantes que desde un inicio limiten el diseño y su posterior ejecución.

Una vez determinados los posibles parámetros restrictivos se procederá a aplicar todos los conocimientos técnicos del diseño geométrico en el análisis comparativo del diseño propuesto en planta, perfil, sección transversal y en general todo aquello que se ha limitado anteriormente dentro del contenido de este proyecto.

El resultado final del análisis permitirá arrojar conclusiones respecto al diseño y normas de diseño vigentes, sugerencias y recomendaciones con relación al diseño propuesto y una vista de manera general del diseño desde el punto de vista técnico y relacionarlo con temas sociales, económicos, culturales, entre otros.

En cuanto al desarrollo del análisis comparativo se empleará herramientas del conocimiento anteriormente expuestas, equipos de computación, software para la administración de diseños sobre planos y demás herramientas informáticas requeridas durante el proceso de desarrollo de nuestro trabajo y por último se empleará recursos materiales como hojas, escalímetros, planos del diseño presentados en formato .DWG, entre otras herramientas básicas para aplicación de criterios de diseño geométrico.

Básicamente el análisis se dividirá en siete etapas:

- *Estudio y determinación de criterios de las normas de diseño geométrico vigentes contenidas en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras expedidas por el INVIAS año 1998 y 2008.*

Dentro de este ítem se desarrollara el análisis de variaciones producidas dentro del Manual de Diseño tanto en el año 1998 como 2008, enfatizándose en los criterios y controles de diseño geométrico, como lo son velocidades de diseño, radios de curvas, peraltes, entretangencias y en general todos aquellos aspecto

que el manual presenta como base para diseño, al igual que los procesos para aplicación de tales parámetros.

- *Estudio del diseño geométrico en Planta del “Trayecto 5 Concesión Variante Rumichaca - Pasto - Chachagüi - Aeropuerto”.*

Se desarrollará el análisis comparativo del diseño geométrico en planta de acuerdo a las normas de diseño de los manuales expedidos en los años de 1998 y 2008 teniendo en cuenta los criterios de diseño previamente analizados como curvas horizontales, transición del peralte, curvas espirales, entretangencia horizontal, relación entre los radios de curvas horizontales contiguas.

- *Estudio del diseño geométrico en perfil del “Trayecto 5 Concesión Variante Rumichaca - Pasto - Chachagüi - Aeropuerto”.*

Se desarrollará el análisis comparativo del diseño geométrico en perfil de acuerdo a las normas de diseño de los manuales expedidos en los años de 1998 y 2008 teniendo en cuenta los criterios de diseño previamente analizados como tangentes verticales, curvas verticales.

- *Estudio del diseño geométrico de la sección transversal del “Trayecto 5 Concesión Variante Rumichaca - Pasto – Chachagüi - Aeropuerto”.*

Se desarrollará el análisis comparativo del diseño geométrico de la sección transversal de acuerdo a las normas de diseño de los manuales expedidos en los años de 1998 y 2008 teniendo en cuenta los criterios de diseño previamente analizados como ancho de zona o derecho de vía, corona (Calzada y Berma), sobreancho en las curvas, valor de la flecha (m) para proveer la distancia de visibilidad de parada en curva.

- *Generación de conclusiones, recomendaciones y sugerencias de acuerdo al diseño propuesto.*

En este aspecto, se efectuará la evaluación del proyecto en sí, efectuando procesos de retroalimentación si fuese necesario, de acuerdo a las conclusiones obtenidas, si ellas abarcan el objetivo general que persigue la ejecución de nuestro trabajo de grado. Igualmente, se realizará algunas recomendaciones y sugerencias con respecto al diseño presentado, que de acuerdo al análisis y criterio son susceptibles de mejorarse.

- *Análisis comparativo del diseño existente con base a resultados obtenidos en etapas anteriores, con base a las normas de Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008.*

Durante esta etapa se generará un paralelo entre los resultados obtenidos durante el proceso de revisión de todos y cada uno de los parámetros geométricos analizados durante etapas anteriores con base a las normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008 expedidas por el Instituto Nacional de Vías _INVIAS.

- *Elaboración, presentación y Sustentación de los resultados obtenidos del Análisis Comparativo del proyecto en planta, perfil y sección transversal del “Trayecto 5 Concesión Variante Rumichaca - Pasto - Chachagüi - Aeropuerto”.*

Durante esta última etapa se recopilará la información y resultados obtenidos de nuestro análisis comparativo en forma ordenada y coherente para ser presentada y sustentada técnicamente teniendo en cuenta los aspectos básico e indispensables empleados en la realización de dicho análisis.

1. RESULTADOS ESPERADOS

Al culminar este trabajo se espera obtener un informe de análisis a nivel comparativo del **TRAYECTO 5 DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO** entre las **Normas de Diseño Geométrico de Carreteras** de los años 1998 y 2008, a partir de un estudio ordenado, preciso y puntual de todos y cada uno de los parámetros del diseño geométrico cumpliendo con todas las etapas del diseño (horizontal, vertical y transversal) de acuerdo a la delimitación y alcance propuesto anteriormente; generando recomendaciones y sugerencias en cuanto al diseño de la vía propuesto que conlleve a la optimización del proyecto a nivel geométrico mediante la aplicación de conocimientos técnicos.

Dentro de este trabajo de investigación se espera generar un paralelo claramente establecido entre las **Normas de Diseño Geométrico de Carreteras** vigentes y versión del año 1998, con base en los criterios de diseño estudiados en cada una de las etapas expuestas dentro de la metodología.

2. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

2.1 GENERALIDADES

Diseño geométrico de carreteras: Según Chocontá,(2002) se define como “El proceso de correlacionar los elementos físicos de la vía con las condiciones de operación de los vehículos y las características del terreno”¹. A través del diseño geométrico, se debe garantizar unas distancias de visibilidad disponible para el usuario, siempre superiores a las que él utiliza para sus diferentes maniobras.

Se debe lograr un diseño geométrico consistente, que contribuya a reducir las violaciones de las expectativas del conductor, de tal manera que éste aprecie homogeneidad en el trazado y sus diferentes componentes. Esto hace referencia a una adecuada coordinación por parte del diseñador del alineamiento en planta y el alineamiento en perfil.

Los criterios que priman en el diseño de una carretera son: seguridad, comodidad, eficiencia y funcionalidad. Como criterios secundarios, pero no de menor importancia están el entorno, economía, estética y ajustabilidad.

Carretera: “Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.”²

Principales elementos de una carretera: No necesariamente deben estar todos estos elementos presentes en una carretera, su existencia depende del tipo de carretera, condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, etc.

- ✓ Señales verticales
- ✓ Demarcación horizontal
- ✓ Superficie: ya sea en pavimento flexible, rígido, articulado o en afirmado
- ✓ Muros de contención
- ✓ Puentes, viaductos, pontones
- ✓ Obras de seguridad vial
- ✓ Obras de protección
- ✓ Túneles

¹ CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.

² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 269

2.2 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 1998 - INVIAS

Clasificación de las carreteras: Se clasifican *por su competencia, según sus características, según el tipo de terreno, según velocidad de diseño y según su función*; mientras que para la normatividad vigente únicamente interesa la clasificación *según su funcionalidad y el tipo de terreno*.

“Según su funcionalidad: Determinada según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación en sus diferentes niveles: *primarias, secundarias y terciarias*.

Según el tipo de terreno: Determinada por la topografía predominante en el tramo en estudio, es decir que a lo largo del proyecto pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno: *terreno plano, ondulado, montañoso y escarpado*.³

2.2.1 Criterios de diseño:

Velocidad: “La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.

El diseño geométrico de una carretera se debe definir en relación directa con la velocidad a la que se desea circulen los vehículos en condiciones aceptables de comodidad y seguridad.

Tipos de velocidades: *velocidad en general, puntual, instantánea, media temporal, media espacial, de recorrido, de diseño, específica, de marcha y de operación*”⁴

Visibilidad: “Una de las características más importantes que deberá ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo es la habilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente.

La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Esta distancia de visibilidad deberá ser de suficiente longitud, tal que permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo puede ser por la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril de circulación, o el adelantamiento de un vehículo lento en carreteras de

³ Ibid., p. 4, 5 y 6

⁴ Ibid., p 39

dos carriles dos sentidos, o la del cruce con una vía secundaria, o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras terciarias de calzadas angostas.

Por lo anterior, para el proyecto de carreteras, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad: *distancia de visibilidad de parada, distancia de visibilidad de adelantamiento, distancia de visibilidad de cruce y distancia de visibilidad de encuentro.*"⁵

2.2.2 Alineamiento horizontal. "Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

Lo anterior, se logra haciendo que el proyecto sea gobernado por un adecuado valor de velocidad de diseño; y, sobre todo, estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte. Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico-económicos, una velocidad de diseño para el caso.

El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares, y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. El alineamiento horizontal debe permitir una operación suave y segura a la velocidad de diseño.

Alineamientos rectos y curvos⁶: Durante el diseño de una carretera nueva se deben evitar tramos en planta con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, especialmente en zonas donde la temperatura es relativamente alta, y en la noche aumentan el peligro de deslumbramiento, por las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto.

Es preferible reemplazar grandes alineamientos (superiores a 1.5 km), por curvas amplias de grandes radios (2000 a 10000 m) que obliguen al conductor a modificar suavemente su dirección y mantengan despierta su atención.

Para vías de sentido único no tiene objeto utilizar radios superiores a 10000 m; pero en el caso de doble vía (en ambos sentidos), las condiciones de visibilidad pueden implicar radios superiores.

⁵ Ibid., p.49

⁶ Ibid.

Entretangencias: Se presenta este análisis, teniendo en cuenta dos situaciones.

a. Curvas de distinto sentido. Considerando el empleo de curvas de transición, puede prescindirse de tramos de entretangencia rectos. Si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente mínima para rampa de peraltes y por espacio recorrido a la velocidad de diseño en un tiempo no menor de 5 segundos.

b. Curvas del mismo sentido. Por su misma naturaleza, deben considerarse indeseables en cualquier proyecto de carreteras, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Para garantizar la comodidad y seguridad del usuario, la entretangencia para el diseño en terreno ondulado, montañoso y escarpado con espirales, no puede ser menor a 5 segundos y para diseños en terreno plano con arcos circulares, no menor a 15 segundos de la velocidad de diseño. Como por dificultades del terreno, son a veces imposibles de evitar, se debe intentar siempre el reemplazo por una sola.

Peralte: El peralte es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que transita por un alineamiento en curva. Dicha acción está contrarrestada también por el rozamiento entre ruedas y pavimento.”⁷

Curvas de transición: “En un diseño donde se utilizan elementos geométricos rígidos como la línea recta y los arcos circulares, cualquier móvil que entre en una curva horizontal o salga de la misma, experimenta un cambio brusco debido al incremento o disminución de la fuerza centrífuga, que se efectúa en forma instantánea, lo que produce incomodidad en el usuario. El conductor sigue generalmente un camino conveniente de transición, lo que puede originar la ocupación de una parte del carril adyacente, cuando se inicia el recorrido de la curva, lo que representa un peligro si el carril aledaño es para tránsito de sentido contrario. Salvo cuando se tienen curvas de radios grandes, donde también se pueden usar pero no es estrictamente necesario, lo indicado es emplear las curvas de transición.”⁸.

La clotoide: “Corresponde a la espiral con más uso en el diseño de carreteras, sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos, permiten obtener carreteras cómodas, seguras y estéticas.

Las principales ventajas de las espirales en alineamientos horizontales son las siguientes:

⁷ Ibid., Pp.62,63,63 y 65

⁸ Ibid., p 78

- Una curva espiral diseñada apropiadamente proporciona una trayectoria natural y fácil de seguir por los conductores, de tal manera que la fuerza centrífuga crece o decrece gradualmente, a medida que el vehículo entra o sale de una curva horizontal.
- La longitud de la espiral se emplea para realizar la transición del peralte y la del sobreancho entre la sección transversal en línea recta y la sección transversal completamente peraltada y con sobreancho de la curva.
- El desarrollo del peralte se hace en forma progresiva, con lo que se consigue que la pendiente transversal de la calzada sea, en cada punto, la que corresponde al respectivo radio de curvatura.
- La flexibilidad de la clotoide y las muchas combinaciones del radio con la longitud, permiten la adaptación a la topografía, y en la mayoría de los casos la disminución del movimiento de tierras, para obtener trazados más económicos.

Con el empleo de las espirales en autopistas y carreteras, se mejora considerablemente la apariencia en relación con curvas circulares únicamente. En efecto, mediante la aplicación de espirales se suprimen las discontinuidades notorias al comienzo y al final de la curva circular (téngase en cuenta que sólo se utiliza la parte inicial de la espiral), la cual se distorsiona por el desarrollo del peralte, lo que es de gran ventaja también en el mejoramiento de carreteras existentes.”⁹

2.2.3 Alineamiento vertical. “El alineamiento vertical está formado por la rasante, constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos, a los cuales dichas rectas son tangentes. La inclinación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona que atraviesa, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en rampas.

Tan importante como para el alineamiento horizontal, es determinante en el alineamiento vertical el relieve del terreno, con el objeto de no encarecer los costos de construcción y operación.”¹⁰

⁹ Ibid., Pp. 79 - 80

¹⁰ Ibid., p 107

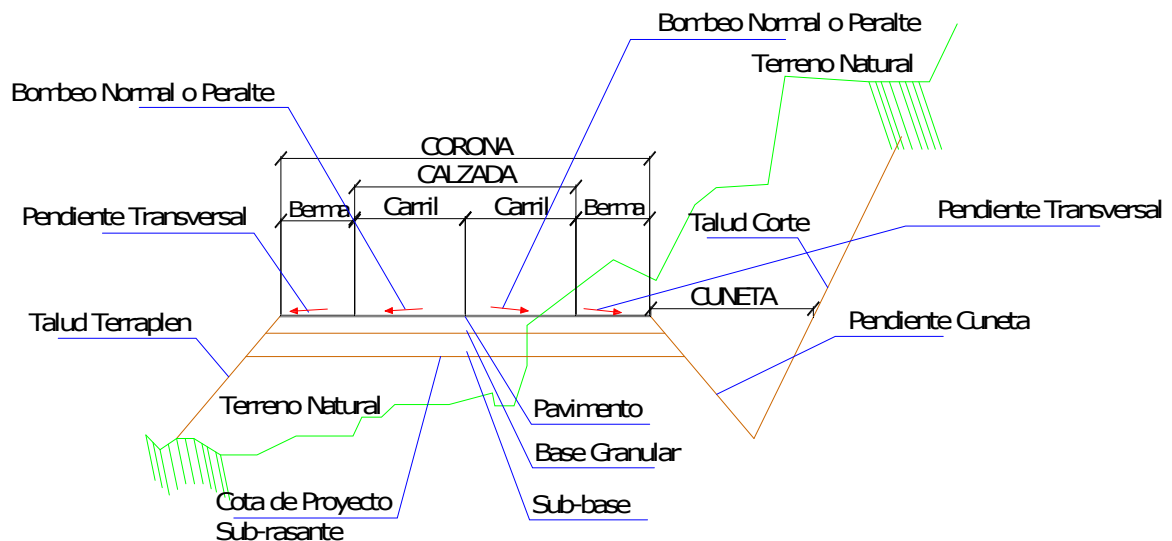
2.2.4 Curvas verticales. Se pueden clasificar por su forma como *cóncavas* o *convexas* y estas a su vez, dependiendo de la proporción de sus ramales que las forman pueden ser *simétricas* o *asimétricas*.

“Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas”¹¹

2.2.5 Sección transversal. “La sección transversal de una carretera en un punto de ésta es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.”¹²

Los elementos que conforman la sección transversal de una carretera típica son: ancho de zona o derecho de vía, corona, calzada, bermas, carriles, cunetas, taludes y elementos complementarios, tal como se indica a en la figura 1.

Figura 1. Sección transversal típica.¹³



¹¹ Ibid., p.112

¹² Ibid., p. 124

¹³ Ibid., p. 124

“Criterios de diseño general: Los elementos geométricos que componen los alineamientos horizontal y vertical están mutuamente relacionados. Una buena coordinación de ellos dará como resultado un diseño ajustado y armonioso, de tal forma que la carretera sea económica, agradable y segura para todos los usuarios.

Una coordinación apropiada de estos elementos solo se obtiene mediante un estudio cuidadoso de ingeniería vial, para lo cual se recomiendan los siguientes criterios básicos:

- La curvatura horizontal y la pendiente longitudinal del proyecto deben mantener un balance apropiado, sin sacrificar las condiciones de una en busca de mejores características de la otra, para lograr un diseño equilibrado, que es aquel en el cual ambos alineamientos están estrechamente vinculados, ofreciendo el máximo de seguridad y capacidad, además de una operación fácil, cómoda, uniforme y segura.
- De una curva vertical que coincida con una curva horizontal generalmente resulta una carretera agradable, siempre y cuando la curva horizontal no sea de radio mínimo o próximo al mínimo, coincidiendo con una curva vertical de longitud mínima, pues esta circunstancia presenta inconvenientes, especialmente cuando se transita en las horas de la noche. En efecto, las luces de los vehículos se pierden en el espacio, generando pésimas condiciones ópticas para los conductores.”¹⁴

2.3 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2008– INVIAS

2.3.1 Controles para el diseño geométrico:

Velocidad de diseño: “En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado 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 del recorrido.

El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de 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 (V_{TR}), es la base para la

¹⁴ Ibíd., p 147.

definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño (V_{TR}) se debe atender a los siguientes criterios:

- a. La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño dada debe ser de tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento diez kilómetros por hora (60 y 110 km/h).
- b. La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede 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 del corredor de 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 puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).

La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.”¹⁵

Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil: “La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su Velocidad Específica y es con la que se debe diseñar ese elemento.

El valor de la Velocidad Específica de un elemento geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

- Del valor de la Velocidad de Diseño del Tramo Homogéneo (V_{TR}) en que se encuentra incluido el elemento. La condición deseable es que a la mayoría de los elementos geométricos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como Velocidad Específica el valor de la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}).
- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido.

Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la Velocidad Específica de curvas y entretangencias, lo que necesariamente se traduce en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las Velocidades Específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de

¹⁵ Ibíd., p. 37

diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora ($V_{TR} + 20 \text{ km/h}$).¹⁶

Las velocidades que conforman el diseño geométrico en planta y perfil son: *velocidad específica de la curva horizontal* (V_{CH}), *velocidad en la entretangencia horizontal* (V_{ETH}), *velocidad específica de la curva vertical* (V_{CV}) y *velocidad específica de la tangente vertical* (V_{CV}).

Vehículo de diseño: El vehículo de Diseño, se define como significativo de flujo vehicular que pueda transitar por dicha carretera. Para el medio Colombiano, tenemos vehículos *livianos* y *pesados* con menos de 5 ton de capacidad y con más de 5 ton de capacidad respectivamente.

“La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y sobreeanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).”¹⁷

Distancias de visibilidad: “Una de las características más importantes que debe ofrecer el trazado de una carretera al conductor de un vehículo es la posibilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente”.¹⁸

En el Diseño Geométrico de Carreteras, se deberán tener en cuenta: *distancia de visibilidad de parada* (D_P), *distancia de visibilidad de adelantamiento* (D_A) y *distancia de visibilidad de cruce* (D_C).

2.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera. “Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

Lo anterior se logra haciendo que el proyecto sea gobernado por un adecuado valor de velocidad de diseño; y, sobre todo, estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte. Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico-económicos, la velocidad de diseño para cada Tramo Homogéneo en estudio.

¹⁶ Ibíd., p. 39

¹⁷ Ibíd., p 50

¹⁸ Ibíd., p 51

El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. El alineamiento horizontal debe permitir una operación segura y cómoda a la velocidad de diseño.

Durante el diseño de una carretera nueva se deben evitar tramos en planta con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, especialmente en zonas donde la temperatura es relativamente alta, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto.”¹⁹

Curvas horizontales: Los empalmes básicos que se pueden emplear en el diseño en planta del eje de la carretera son: *empalme circular simple, empalme espiral clotoide, empalme espiral-círculo-espiral, empalme espiral-espiral, empalme en “S” (espiral-espiral inversa), empalme en “C” (espiral que une dos círculos de igual sentido)*.

Con los anteriores tipos de empalmes básicos se pueden diseñar curvas como: *circular simple, espiral-círculo-espiral, espiral-espiral, curva en “S”, curva en “C” y curva en “Doble C”*.

Relación entre la velocidad específica de la curva horizontal (VCH), el radio de curvatura (RC) y el peralte (e):

“Ecuación de equilibrio: Esta ecuación permite definir la relación entre el radio (R_C) de la curva horizontal, la Velocidad Específica (V_{CH}), el peralte (e) y la fricción transversal (f_T), con la cual se tiene el equilibrio de las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva. La ecuación de la curva es la siguiente:

$$R_C = \frac{V_{CH}^2}{127 * (e + f_T)} \quad \text{„20} \quad [1]$$

Transición del peralte: “Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva. La longitud de transición está constituida por dos tramos principales: 1) la distancia (N) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación

¹⁹ Ibíd., p. 73

²⁰ Ibíd., p 102-103

con el eje de la vía, llamado aplanamiento y 2) la distancia (L) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular.”²¹

Entretangencia horizontal:

“Entretangencia mínima”

- **Para curvas de distinto sentido:**

Considerando el empleo de curvas espirales, se puede prescindir de tramos de entretangencia rectos.

Si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente máxima para rampa de peraltes y por la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos (5 s) a la menor de las Velocidades Específicas (V_{CH}) de las curvas adyacentes a la entretangencia en estudio.

- **Para Curvas del mismo sentido:**

En el diseño con curvas espirales la entretangencia no puede ser menor a la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos (5 s) a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

Para diseños con curvas circulares, especialmente en terreno plano, la entretangencia no puede ser menor al espacio recorrido en un tiempo no menor de quince segundos (15 s) a la velocidad específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

Entretangencia máxima:

Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (D_a), pero en el caso que se excedan estas distancias por razones propias del diseño es necesario procurar que la longitud máxima de recta no sea superior a quince (15) veces la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) expresada en kilómetros por hora (km/h). Este criterio se aplica de igual forma para curvas de igual sentido como para curvas de diferente sentido.”²²

²¹ Ibíd., p. 108

²² Ibíd., p 119 - 120

2.3.3 Diseño en perfil del eje de la carretera. “El alineamiento vertical y el alineamiento horizontal deben ser consistentes y balanceados, en forma tal que los parámetros del primero correspondan y sean congruentes con los del alineamiento horizontal. 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 en estudio.

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 operación como para su construcción.”²³

Tangente vertical:

“Pendiente mínima: La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura y en las cunetas. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.

Pendiente máxima: La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de vía que se desea diseñar. Para vías Primarias las pendientes máximas se establecen considerando velocidades altas, entre sesenta y ciento treinta kilómetros por hora (60 - 130 km/h). En las vías Terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre veinte y sesenta kilómetros por hora (20 - 60 km/h), en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.”²⁴

2.3.4 Diseño de la sección transversal de la carretera. Los elementos que hacen parte de la sección transversal de la carretera, son:

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. A esta zona no se le puede dar uso privado.

²³ Ibíd.,

²⁴ Ibíd., p 127

Corona: Es el conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas.

- **Calzada:** La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas. La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada se debe ejecutar de conformidad con las disposiciones del “Manual de Dispositivos para la regulación del Tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.
- **Bermas:** La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.

Sobreancho en las Curvas: En curvas de radio reducido, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera, se debe ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la calzada.”²⁵

Valor de la flecha (m) para proveer la distancia de visibilidad de parada en curva: La visibilidad de la vía en una curva horizontal puede estar limitada por obstáculos situados en el interior de la misma, tales como taludes en corte, vegetación, muros de contención y barreras de seguridad.

Para evitar esta restricción, debe existir una distancia mínima entre el eje del carril interior, que se toma como trayectoria del vehículo, y el obstáculo lateral, que permita a lo largo del sector circular conservar siempre una distancia de visibilidad de parada mayor o igual a la mínima especificada.

²⁵ Ibíd.

En consecuencia, en el interior de una curva horizontal se debe despejar de obstáculos una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos, cuya distancia es igual a la visibilidad deseada.”²⁶

²⁶ Ibíd., p. 161

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Localización y descripción del trayecto 5. El Trayecto 5, hace parte de la CONCESION VARIANTE RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AEROPUERTO e inicia en el corregimiento de Catambuco y finaliza en la intersección de Daza. Para la facilidad de su análisis se dividirá dicho trayecto en los subtrayectos T5-1, T5-2 y T5-3. El diseño esta realizado para la calzada izquierda. A continuación se especifica cada subtrayecto con su respectiva delimitación. (ver tabla 1).

Tabla 1. Descripción trayecto 5.

Trayecto	Calzada	Inicio		Terminación	
		Abscisa	Localidad	Abscisa	Localidad
T5-1	Izquierda	PR0 + 000	CATAMBUCO	PR10 + 760	BOTANILLA
T5-2	Izquierda	PR10 + 760	BOTANILLA	PR18 + 400	TUNEL
T5-3	Derecha	K16 + 255	ARANDA	K18 + 166	LA MERCED

En la abscisa K16 + 255 se desprende una calzada derecha debido a que más adelante se presenta una intersección que tiene como fin mejorar las especificaciones viales y el nivel de servicio para generar beneficios a los usuarios, esta calzada finaliza en la abscisa K18 + 166 y será analizada como el subtrayecto T5-3.

3.1.2 Alineamiento horizontal:

3.1.2.1 Descripción curvas horizontales. En el trayecto 5, se presentan en su mayoría curvas espirales con empalme tipo Espiral-Circulo-Espiral (E-C-E), en menor número curvas espiral-espiral (E-E) y curvas circulares.

La siguiente tabla presenta las abscisas de inicio y terminación, al igual que el tipo de empalme de cada curva horizontal: (Ver tabla 2-4)

Tabla 2. Descripción curvas horizontales T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Abscisa Entrada	Abscisa Salida
1	E-C-E	PR0 + 4.19	PR0 + 200.86
2	E-C-E	PR0 + 341.00	PR0 + 482.94
3	E-E	PR0 + 715.08	PR0 + 865.08
4	E-C-E	PR1 + 134.14	PR1 + 287.72
5	E-C-E	PR1 + 699.21	PR1 + 965.90
6	E-C-E	PR2 + 581.55	PR2 + 972.25
7	Circular	PR3 + 446.67	PR3 + 606.52
8	E-C-E	PR3 + 829.25	PR4 + 9.51
9	Circular	PR4 + 171.95	PR4 + 278.89
10	E-C-E	PR4 + 828.44	PR5 + 107.10
11	E-C-E	PR5 + 233.02	PR5 + 423.92
12	E-C-E	PR5 + 425.64	PR5 + 606.68
13	E-C-E	PR5 + 638.83	PR5 + 818.55
14	E-C-E	PR6 + 229.50	PR6 + 467.38
15	E-C-E	PR6 + 494.20	PR6 + 847.92
16	E-C-E	PR6 + 980.50	PR7 + 159.34
17	E-C-E	PR7 + 274.31	PR7 + 635.41
18	E-C-E	PR7 + 643.22	PR7 + 989.29
19	E-C-E	PR8 + 18.18	PR8 + 416.13
20	E-C-E	PR8 + 641.38	PR9 + 179.37
21	E-C-E	PR9 + 312.33	PR9 + 467.75
22	E-C-E	PR9 + 501.55	PR9 + 668.49
23	E-C-E	PR9 + 821.65	PR10 + 50.41
24	E-C-E	PR10 + 51.83	PR10 + 224.62

Tabla 3. Descripción curvas horizontales T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Abscisa Entrada	Abscisa Salida
1	E-C-E	PR10 + 594.97	PR10 + 877.32
2	Circular	PR11 + 189.45	PR11 + 630.31
3	E-C-E	PR11 + 862.63	PR12 + 116.45
4	Circular	PR12 + 396.58	PR12 + 725.73
5	E-C-E	PR13 + 8.90	PR13 + 249.30
6	E-C-E	PR13 + 467.30	PR13 + 665.19
7	E-C-E	PR14 + 16.74	PR14 + 353.48
8	E-C-E	PR14 + 377.07	PR14 + 662.08
9	E-C-E	PR14 + 690.33	PR14 + 972.76
10	E-C-E	PR14 + 992.54	PR15 + 534.72
11	E-C-E	PR15 + 594.30	PR15 + 700.36
12	E-C-E	PR15 + 714.26	PR16 + 11.31
13	E-C-E	PR16 + 31.00	PR16 + 196.54
14	E-C-E	PR16 + 282.02	PR16 + 459.05
15	Circular	PR16 + 518.20	PR16 + 647.31
16	Circular	PR16 + 819.25	PR16 + 969.70
17	E-C-E	PR17 + 99.19	PR17 + 366.15
18	Circular	PR17 + 780.88	PR17 + 928.29
19	Circular	PR18 + 138.44	PR18 + 242.30
20	Circular	PR18 + 286.49	PR18 + 424.30

Tabla 4. Descripción curvas horizontales T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Abscisa Entrada	Abscisa Salida
1	E-C-E	PR0+000	PR0 + 211.96
2	E-C-E	PR0 + 416.18	PR0 + 713.98
3	E-C-E	PR0 + 856.54	PR1 + 181.71
4	E-C-E	PR1 + 580.81	PR1 + 719.47
5	E-C-E	PR1 + 883.90	PR2 + 032.49

3.1.2.2 Descripción entretangencias horizontales. En la siguiente tabla se presenta las abscisas de inicio y terminación de cada entretangencia horizontal y su longitud correspondiente: (Ver tablas 5-7)

Tabla 5. Descripción entretangencias horizontales T5-1.

Entretangencia N°	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR0 + 200.86	PR0 + 341.00	140.14
2	PR0 + 482.94	PR0 + 715.08	232.14
3	PR0 + 865.08	PR1 + 134.14	268.92
4	PR1 + 287.72	PR1 + 699.21	411.49
5	PR1 + 965.90	PR2 + 581.55	615.65
6	PR2 + 972.25	PR3 + 446.67	474.42
7	PR3 + 606.52	PR3 + 829.25	222.73
8	PR4 + 9.51	PR4 + 171.95	162.44
9	PR4 + 278.89	PR4 + 828.44	549.55
10	PR5 + 107.10	PR5 + 233.02	125.92
11	PR5 + 423.92	PR5 + 425.64	1.72
12	PR5 + 606.68	PR5 + 638.83	32.15
13	PR5 + 818.55	PR6 + 229.50	410.95
14	PR6 + 467.38	PR6 + 494.20	26.82
15	PR6 + 847.92	PR6 + 980.50	132.58
16	PR7 + 159.34	PR7 + 274.31	114.97
17	PR7 + 635.41	PR7 + 643.22	7.81
18	PR7 + 989.29	PR8 + 18.18	28.89
19	PR8 + 416.13	PR8 + 641.38	225.25
20	PR9 + 179.37	PR9 + 312.33	132.96
21	PR9 + 467.75	PR9 + 501.55	33.8
22	PR9 + 668.49	PR9 + 821.65	153.16
23	PR10 + 50.41	PR10 + 51.83	1.42
24	PR10 + 224.62	PR10 + 594.97	370.35

Tabla 6. Descripción entretangencias horizontales T5-2.

Entretangencia N°	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR10 + 224.62	PR10 + 594.97	370.35
2	PR10 + 877.32	PR11 + 189.45	312.13
3	PR11 + 630.31	PR11 + 862.63	232.32
4	PR12 + 116.45	PR12 + 396.58	280.13
5	PR12 + 725.73	PR13 + 8.90	355.17
6	PR13 + 249.30	PR13 + 467.30	218
7	PR13 + 665.19	PR14 + 16.74	351.55
8	PR14 + 353.48	PR14 + 377.07	23.59
9	PR14 + 662.08	PR14 + 690.33	28.25
10	PR14 + 972.76	PR14 + 992.54	19.78
11	PR15 + 534.72	PR15 + 594.30	59.58
12	PR15 + 700.36	PR15 + 714.26	13.9
13	PR16 + 11.31	PR16 + 31.00	19.69
14	PR16 + 196.54	PR16 + 282.02	85.48
15	PR16 + 459.05	PR16 + 518.20	59.15
16	PR16 + 647.31	PR16 + 819.25	171.94
17	PR16 + 969.70	PR17 + 99.19	129.49
18	PR17 + 366.15	PR17 + 780.88	414.73
19	PR17 + 928.29	PR18 + 138.44	210.15
20	PR18 + 242.30	PR18 + 286.49	44.19

Tabla 7. Descripción entretangencias horizontales T5-3.

Entretangencia N°	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR16 + 196.54	PR0 + 000	196.54
2	PR0 + 211.96	PR0 + 416.18	207.22
3	PR0 + 713.98	PR0 + 856.54	142.56
4	PR1 + 181.71	PR1 + 580.81	399.1
5	PR1 + 719.47	PR1 + 883.90	164.43

3.1.3 Alineamiento vertical

3.1.3.1 Descripción curvas verticales. La siguiente tabla presenta las abscisas de inicio y terminación, al igual que su forma de inflexión de cada curva vertical: (Ver tablas 8-9)

Tabla 8. Descripción curvas verticales T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	Longitud de Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Convexa	110.00	PR0 + 015.000	PR0 + 125.000
2	Cóncava	130.00	PR0 + 125.000	PR0 + 255.000
3	Convexa	320.00	PR0 + 360.484	PR0 + 680.484
4	Cóncava	500.00	PR1 + 445.078	PR1 + 945.078
5	Convexa	300.00	PR2 + 806.260	PR3 + 106.260
6	Cóncava	140.00	PR3 + 306.260	PR3 + 446.260
7	Cóncava	120.00	PR3 + 756.256	PR3 + 876.256
8	Convexa	440.00	PR4 + 186.256	PR4 + 626.256
9	Cóncava	180.00	PR4 + 786.256	PR4 + 966.256
10	Cóncava	100.00	PR5 + 596.256	PR5 + 696.256
11	Convexa	260.00	PR6 + 108.737	PR6 + 368.737
12	Cóncava	340.00	PR6 + 768.737	PR7 + 108.737
13	Convexa	440.00	PR7 + 210.637	PR7 + 650.637
14	Cóncava	90.00	PR8 + 357.711	PR8 + 447.711
15	Cóncava	120.00	PR8 + 739.228	PR8 + 859.228
16	Convexa	250.00	PR8 + 912.675	PR9 + 162.675
17	Cóncava	360.00	PR9 + 739.921	PR10 + 099.921

Tabla 9. Descripción curvas verticales T5-2.

PIV N°	Forma de Inflexión	Longitud de Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Convexa	360.00	PR11 + 127.11	PR11 + 487.11
2	Cóncava	290.00	PR11 + 506.18	PR11 + 796.18
3	Convexa	400.00	PR12 + 38.19	PR12 + 438.19
4	Convexa	50.00	PR12 + 906.18	PR12 + 956.18
5	Cóncava	320.00	PR13 + 100	PR13 + 420
6	Convexa	140.00	PR13 + 710	PR13 + 850
7	Convexa	260.00	PR14 + 550	PR14 + 810
8	Cóncava	260.00	PR15+ 070	PR15 + 330
9	Convexa	280.00	PR15 + 351.18	PR15 + 560.68
10	Cóncava	180.00	PR16 + 402.01	PR16 + 582.01
11	Cóncava	160.00	PR17 + 080	PR17 + 024
12	Convexa	250.00	PR18 + 146.86	PR18 + 396.86

Para el subtrayecto T5-3 no se hará descripción, ni análisis del alineamiento vertical, ya que no se cuenta con la información necesaria, es decir planos del perfil de este subtrayecto.

3.1.3.2 Descripción entretangencias verticales. Las entretangencias verticales que conforman el diseño del trayecto 5 se describen en las siguientes tablas: (Ver tablas 10-11)

Tabla 10. Descripción entretangencias verticales T5-1.

Entretangencia N°	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud Entretangencia (m)
1	PR0 + 125.000	PR0 + 125.000	0.00
2	PR0 + 255.000	PR0 + 360.484	105.484
3	PR0 + 680.484	PR1 + 445.078	764.594
4	PR1 + 945.078	PR2 + 806.260	861.182
5	PR3 + 106.260	PR3 + 306.260	200.00
6	PR3 + 446.260	PR3 + 756.256	309.996
7	PR3 + 876.256	PR4 + 186.256	310.00
8	PR4 + 626.256	PR4 + 786.256	160.00
9	PR4 + 966.256	PR5 + 596.256	630.00
10	PR5 + 696.256	PR6 + 108.737	412.481
11	PR6 + 368.737	PR6 + 768.737	400.00
12	PR7 + 108.737	PR7 + 210.637	101.90
13	PR7 + 650.637	PR8 + 357.711	707.074
14	PR8 + 447.711	PR8 + 739.228	291.517
15	PR8 + 859.228	PR8 + 912.675	53.447
16	PR9 + 162.675	PR9 + 739.921	577.246

Tabla 11. Descripción entretangencias verticales T5-2.

Entretangencia N°	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud Entretangencia (m)
1	PR10 + 99.921	PR11 + 127.11	1027,18
2	PR11 + 487.11	PR11 + 506.18	19,07
3	PR11 + 796.18	PR12 + 038.19	242.01
4	PR12 + 438.19	PR12 + 906.18	467.99
5	PR12 + 956.18	PR13 + 100.00	43.92
6	PR13 + 420.00	PR13 + 710.00	290.00
7	PR13 + 850.00	PR14 + 550.00	700.00
8	PR14 + 810.00	PR15 + 070.00	260.00
9	PR15 + 330.00	PR15 + 351.18	21.18
10	PR15 + 560.68	PR16 + 402.01	841.33
11	PR16 + 582.01	PR17 + 080.00	418.79
12	PR17 + 024.00	PR18 + 146.86	1146.62

3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998

En este capítulo se analizarán los diferentes parámetros que componen el diseño geométrico de una carretera, en específico el trayecto en estudio. Es decir, se hará una relación entre los parámetros que caracterizan el diseño geométrico presentado por el Concesionario DEVINAR S.A. y los parámetros mínimos y máximos que especifica el INVIAS en su manual del año 1998.

Algunos de estos parámetros son muy cercanos al valor mínimo ó máximo (por debajo ó por encima respectivamente) que exige la normatividad, pero

teóricamente no cumplen por lo cual los análisis que se harán a continuación se limitaran en decir si CUMPLE ó NO CUMPLE y no en aceptar aquellos valores que están muy cercanos pero fuera de dicho rango. Esto también se debe a que un buen diseño geométrico de una carretera los parámetros que la caracterizan deben estar por encima de los valores mínimos y por debajo de los valores máximos exigidos y no muy cercanos al límite.

3.2.1 Controles para el diseño geométrico:

3.2.1.1 Velocidad de diseño. La velocidad de Diseño depende del *tipo de terreno* y de *la categoría de la vía*.

- **Tipo de terreno:** para determinar este parámetro es necesario establecer la pendiente tanto en sentido longitudinal como transversal con respecto al eje de diseño, obtenidas a partir de la topografía del terreno. Se caracteriza el tipo de terreno por tramos dependiendo del grado de variación que éste presente.

"Pendiente longitudinal del terreno es la inclinación natural del terreno, medida en el sentido del eje de la vía.

Pendiente transversal del terreno es la inclinación natural del terreno, medida normalmente al eje de la vía."²⁷ (Ver tabla 12)

Tabla 12. Tipo de terreno.²⁸

Terreno	Inclinación máxima media de las líneas de máxima pendiente (%)	Movimiento de Tierras
Plano (P)	0 a 5	Mínimo movimiento de tierras por lo que no presenta dificultad ni en el trazado, ni en la explanación de una carretera.
Ondulado (O)	5 a 25	Moderado movimiento de tierras, que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y explanación de una carretera.
Montañoso (M)	25 a 75	Las pendientes longitudinales y transversales son fuertes aunque no las máximas que se puedan presentar en una dirección considerada; hay dificultades en el trazado y explanación de una carretera.
Escarpado (E)	> 75	Máximo movimiento de tierras, con muchas dificultades para el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas en el recorrido de una vía.

²⁷ Ibid., p.21

²⁸ Ibid., p 21

A partir del análisis de las pendientes longitudinales y pendientes transversales del terreno se obtiene la pendiente máxima media y de ésta la que predomina en los trayectos T5-1 y T5-2 así: (Ver tabla 13)

Tabla 13. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima-tipo de terreno T5-1.

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL				PENDIENTE MAXIMA MEDIA (%)	TERRENO
Tramo	Distancia Horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Abscisa	Distancia Horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)		
K0 + 000 a 100	100	2,51	2,51	K0 + 100	50	3,7	7,4	4,955	Plano
100 a 200	100	7,34	7,34	K0 + 200	50	0,3	0,6	3,97	Plano
200 a 300	100	2,71	2,71	K0 + 300	50	3,7	7,4	5,055	Ondulado
300 a 400	100	7,18	7,18	K0 + 400	50	3,7	7,4	7,29	Ondulado
400 a 500	100	0,82	0,82	K0 + 500	50	3,1	6,2	3,51	Plano
500 a 600	100	3,27	3,27	K0 + 600	50	4,2	8,4	5,835	Ondulado
600 a 700	100	6,77	6,77	K0 + 700	50	3,6	7,2	6,985	Ondulado
700 a 800	100	7,48	7,48	K0 + 800	50	2,7	5,4	6,44	Ondulado
800 a 900	100	6,69	6,69	K0 + 900	50	0,9	1,8	4,245	Plano
900 a K1 + 000	100	5,49	5,49	K1 + 000	50	2,1	4,2	4,845	Plano
K1 + 000 a 100	100	3,3	3,3	K1 + 100	50	1,3	2,6	2,95	Plano
100 a 200	100	8,22	8,22	K1 + 200	50	4,5	9	8,61	Ondulado
200 a 300	100	8,84	8,84	K1 + 300	50	3,4	6,8	7,82	Ondulado
300 a 400	100	7,06	7,06	K1 + 400	50	10,7	21,4	14,23	Ondulado
400 a 500	100	12,45	12,45	K1 + 500	50	16,3	32,6	22,525	Ondulado
500 a 600	100	14,91	14,91	K1 + 600	50	5,6	11,2	13,055	Ondulado
600 a 700	100	10,75	10,75	K1 + 700	50	7,25	14,5	12,625	Ondulado
700 a 800	100	1,87	1,87	K1 + 800	50	5,7	11,4	6,635	Ondulado
800 a 900	100	9,5	9,5	K1 + 900	50	5,3	10,6	10,05	Ondulado
900 a K2 + 000	100	3,09	3,09	K2 + 000	50	1,3	2,6	2,845	Plano
K2 + 000 a 100	100	8,47	8,47	K2 + 100	50	1,7	3,4	5,935	Ondulado
100 a 200	100	0,28	0,28	K2 + 200	50	1,9	3,8	2,04	Plano
200 a 300	100	7,5	7,5	K2 + 300	50	0,4	0,8	4,15	Plano
300 a 400	100	2,37	2,37	K2 + 400	50	3,7	7,4	4,885	Plano
400 a 500	100	5,68	5,68	K2 + 500	50	1,9	3,8	4,74	Plano
500 a 600	100	6,58	6,58	K2 + 600	50	1,5	3	4,79	Plano
600 a 700	100	5,74	5,74	K2 + 700	50	8,1	16,2	10,97	Ondulado
700 a 800	100	4,63	4,63	K2 + 800	50	1,7	3,4	4,015	Plano
800 a 900	100	7,84	7,84	K2 + 900	50	3,9	7,8	7,82	Ondulado
900 a K3 + 000	100	0,99	0,99	K3 + 000	50	4,5	9	4,995	Plano
K3 + 000 a 100	100	2,17	2,17	K3 + 100	50	3,4	6,8	4,485	Plano
100 a 200	100	2,92	2,92	K3 + 200	50	5,2	10,4	6,66	Ondulado
200 a 300	100	5,47	5,47	K3 + 300	50	4,1	8,2	6,835	Ondulado
300 a 400	100	4,95	4,95	K3 + 400	50	1,1	2,2	3,575	Plano
400 a 500	100	11,97	11,97	K3 + 500	50	1,6	3,2	7,585	Ondulado
500 a 600	100	1,33	1,33	K3 + 600	50	1,4	2,8	2,065	Plano
600 a 700	100	0,19	0,19	K3 + 700	50	2,8	5,6	2,895	Plano
700 a 800	100	7,4	7,4	K3 + 800	50	11,7	23,4	15,4	Ondulado
800 a 900	100	3,35	3,35	K3 + 900	50	11,6	23,2	13,275	Ondulado
900 a K4 + 000	100	4,72	4,72	K4 + 000	50	7,8	15,6	10,16	Ondulado
K4 + 000 a 100	100	6,35	6,35	K4 + 100	50	7,4	14,8	10,575	Ondulado
100 a 200	100	9,03	9,03	K4 + 200	50	6,9	13,8	11,415	Ondulado
200 a 300	100	9,7	9,7	K4 + 300	50	7,6	15,2	12,45	Ondulado

Continuación tabla 13.

300 a 400	100	9,71	9,71	K4 + 400	50	5,3	10,6	10,155	Ondulado
400 a 500	100	1,37	1,37	K4 + 500	50	12,4	24,8	13,085	Ondulado
500 a 600	100	12,43	12,43	K4 + 600	50	10,2	20,4	16,415	Ondulado
600 a 700	100	7,88	7,88	K4 + 700	50	10,5	21	14,44	Ondulado
700 a 800	100	11,25	11,25	K4 + 800	50	14,8	29,6	20,425	Ondulado
800 a 900	100	5,06	5,06	K4 + 900	50	4,8	9,6	7,33	Ondulado
900 a K5 + 000	100	2,71	2,71	K5 + 000	50	1,2	2,4	2,555	Plano
K5 + 000 a 100	100	5,3	5,3	K5 + 100	50	8,8	17,6	11,45	Ondulado
100 a 200	100	3,39	3,39	K5 + 200	50	9,3	18,6	10,995	Ondulado
200 a 300	100	17,4	17,4	K5 + 300	50	4,8	9,6	13,5	Ondulado
300 a 400	100	1,19	1,19	K5 + 400	50	3,1	6,2	3,695	Plano
400 a 500	100	6,1	6,1	K5 + 500	50	0,6	1,2	3,65	Plano
500 a 600	100	10,38	10,38	K5 + 600	50	3,2	6,4	8,39	Ondulado
600 a 700	100	0,34	0,34	K5 + 700	50	5,6	11,2	5,77	Ondulado
700 a 800	100	1,38	1,38	K5 + 800	50	13,9	27,8	14,59	Ondulado
800 a 900	100	0,85	0,85	K5 + 900	50	4,9	9,8	5,325	Ondulado
900 a K6 + 000	100	0,6	0,6	K6 + 000	50	22,9	45,8	23,2	Ondulado
K6 + 000 a 100	100	14,68	14,68	K6 + 100	50	4,1	8,2	11,44	Ondulado
100 a 200	100	0,55	0,55	K6 + 200	50	5,2	10,4	5,475	Ondulado
200 a 300	100	1,69	1,69	K6 + 300	50	4,6	9,2	5,445	Ondulado
300 a 400	100	2,37	2,37	K6 + 400	50	10,1	20,2	11,285	Ondulado
400 a 500	100	15,91	15,91	K6 + 500	50	11,6	23,2	19,555	Ondulado
500 a 600	100	15,33	15,33	K6 + 600	50	25,4	50,8	33,065	Montañoso
600 a 700	100	31,57	31,57	K6 + 700	50	24,2	48,4	39,985	Montañoso
700 a 800	100	7,53	7,53	K6 + 800	50	12,5	25	16,265	Ondulado
800 a 900	100	8,07	8,07	K6 + 900	50	10,7	21,4	14,735	Ondulado
900 a K7 + 000	100	15,07	15,07	K7 + 000	50	7,2	14,4	14,735	Ondulado
K7 + 000 a 100	100	0,85	0,85	K7 + 100	50	10,2	20,4	10,625	Ondulado
100 a 200	100	2,32	2,32	K7 + 200	50	18,7	37,4	19,86	Ondulado
200 a 300	100	36,85	36,85	K7 + 300	50	24,4	48,8	42,825	Montañoso
300 a 400	100	17,62	17,62	K7 + 400	50	19,1	38,2	27,91	Ondulado
400 a 500	100	20,86	20,86	K7 + 500	50	13,1	26,2	23,53	Ondulado
500 a 600	100	24,95	24,95	K7 + 600	50	15,3	30,6	27,775	Montañoso
600 a 700	100	7,12	7,12	K7 + 700	50	3,1	6,2	6,66	Ondulado
700 a 800	100	21,77	21,77	K7 + 800	50	3,6	7,2	14,485	Ondulado
800 a 900	100	9,73	9,73	K7 + 900	50	3,9	7,8	8,765	Ondulado
900 a K8 + 000	100	9,1	9,1	K8 + 000	50	2,7	5,4	7,25	Ondulado
K8 + 000 a 100	100	8,39	8,39	K8 + 100	50	4,1	8,2	8,295	Ondulado
100 a 200	100	0,24	0,24	K8 + 200	50	2,9	5,8	3,02	Plano
200 a 300	100	20,04	20,04	K8 + 300	50	4,9	9,8	14,92	Ondulado
300 a 400	100	6,01	6,01	K8 + 400	50	2,1	4,2	5,105	Ondulado
400 a 500	100	7,05	7,05	K8 + 500	50	4,9	9,8	8,425	Ondulado
500 a 600	100	5,14	5,14	K8 + 600	50	3,4	6,8	5,97	Ondulado
600 a 700	100	1,74	1,74	K8 + 700	50	5,7	11,4	6,57	Ondulado
700 a 800	100	23,12	23,12	K8 + 800	50	4,3	8,6	15,86	Ondulado
800 a 900	100	6,05	6,05	K8 + 900	50	7,7	15,4	10,725	Ondulado
900 a K9 + 000	100	8,92	8,92	K9 + 000	50	7,4	14,8	11,86	Ondulado
K9 + 000 a 100	100	5,86	5,86	K9 + 100	50	1,9	3,8	4,83	Plano
100 a 200	100	14,2	14,2	K9 + 200	50	2,6	5,2	9,7	Ondulado
200 a 300	100	14,31	14,31	K9 + 300	50	3,2	6,4	10,355	Ondulado
300 a 400	100	13,06	13,06	K9 + 400	50	1,5	3	8,03	Ondulado
400 a 500	100	4,7	4,7	K9 + 500	50	3,8	7,6	6,15	Ondulado

Continuación tabla 13.

500 a 600	100	6,59	6,59	K9 + 600	50	4,5	9	7,795	Ondulado
600 a 700	100	5,32	5,32	K9 + 700	50	16,5	33	19,16	Ondulado
700 a 800	100	8,46	8,46	K9 + 800	50	7,1	14,2	11,33	Ondulado
800 a 900	100	7	7	K9 + 900	50	0,9	1,8	4,4	Plano
900 a K10 + 000	100	2,74	2,74	K10 + 000	50	3,2	6,4	4,57	Plano
K10 + 000 a 100	100	7,49	7,49	K10 + 100	50	9,2	18,4	12,945	Ondulado
100 a 200	100	10,14	10,14	K10 + 200	50	6,4	12,8	11,47	Ondulado
200 a 300	100	8,84	8,84	K10 + 300	50	4,9	9,8	9,32	Ondulado
300 a 400	100	8,9	8,9	K10 + 400	50	3,5	7	7,95	Ondulado
400 a 500	100	12,56	12,56	K10 + 500	50	2,3	4,6	8,58	Ondulado
500 a 600	100	11,12	11,12	K10 + 600	50	10,4	20,8	15,96	Ondulado
600 a 700	100	4,9	4,9	K10 + 700	50	10,9	21,8	13,35	Ondulado
700 a 800	100	6,81	6,81	K10 + 800	50	12,1	24,2	15,505	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T5-1 es **ONDULADO**. (Ver tabla 14)

Tabla 14. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima-tipo de terreno T5-2.

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL				PENDIENTE MAXIMA MEDIA (%)	TERRENO
Tramo	Distancia Horizontal (m)	Desniv el (m)	Pendiente (%)	Abscisa	Distancia Horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)		
800 a 900	100	8,01	8,01	K10 + 900	50	4,4	8,8	8,405	Ondulado
900 a K11 + 000	100	4,1	4,1	K11 + 000	50	14,8	29,6	16,85	Ondulado
K11 + 000 a 100	100	12,62	12,62	K11 + 100	50	0,9	1,8	7,21	Ondulado
100 a 200	100	6,96	6,96	K11 + 200	50	6,1	12,2	9,58	Ondulado
200 a 300	100	6,12	6,12	K11 + 300	50	8,6	17,2	11,66	Ondulado
300 a 400	100	3,93	3,93	K11 + 400	50	10,5	21	12,465	Ondulado
400 a 500	100	9,34	9,34	K11 + 500	50	7,3	14,6	11,97	Ondulado
500 a 600	100	2,28	2,28	K11 + 600	50	7,1	14,2	8,24	Ondulado
600 a 700	100	5,66	5,66	K11 + 700	50	11,7	23,4	14,53	Ondulado
700 a 800	100	9,56	9,56	K11 + 800	50	5,9	11,8	10,68	Ondulado
800 a 900	100	16,21	16,21	K11 + 900	50	11,4	22,8	19,505	Ondulado
900 a K12 + 000	100	20,96	20,96	K12 + 000	50	4,7	9,4	15,18	Ondulado
K12 + 000 a 100	100	9,95	9,95	K12 + 100	50	3,8	7,6	8,775	Ondulado
100 a 200	100	5,28	5,28	K12 + 200	50	1,9	3,8	4,54	Plano
200 a 300	100	1,07	1,07	K12 + 300	50	2,7	5,4	3,235	Plano
300 a 400	100	10,92	10,92	K12 + 400	50	1,2	2,4	6,66	Ondulado
400 a 500	100	16,84	16,84	K12 + 500	50	5,9	11,8	14,32	Ondulado
500 a 600	100	4,45	4,45	K12 + 600	50	7,9	15,8	10,125	Ondulado
600 a 700	100	4,81	4,81	K12 + 700	50	8,8	17,6	11,205	Ondulado
700 a 800	100	5,57	5,57	K12 + 800	50	8,9	17,8	11,685	Ondulado
800 a 900	100	4,28	4,28	K12 + 900	50	7,4	14,8	9,54	Ondulado
900 a K13 + 000	100	3,01	3,01	K13 + 000	50	6,2	12,4	7,705	Ondulado
K13 + 000 a 100	100	16,59	16,59	K13 + 100	50	5,4	10,8	13,695	Ondulado
100 a 200	100	23,1	23,1	K13 + 200	50	3,9	7,8	15,45	Ondulado
200 a 300	100	9,7	9,7	K13 + 300	50	8,2	16,4	13,05	Ondulado
300 a 400	100	4,45	4,45	K13 + 400	50	3,9	7,8	6,125	Ondulado
400 a 500	100	6,89	6,89	K13 + 500	50	3,4	6,8	6,845	Ondulado
500 a 600	100	1,46	1,46	K13 + 600	50	4,5	9	5,23	Ondulado
600 a 700	100	16,1	16,1	K13 + 700	50	12,6	25,2	20,65	Ondulado
700 a 800	100	0,03	0,03	K13 + 800	50	10,3	20,6	10,315	Ondulado

Continuación tabla 14.

800 a 900	100	1,95	1,95	K13 + 900	50	3,1	6,2	4,075	Plano
900 a K14 + 000	100	3,11	3,11	K14 + 000	50	7,8	15,6	9,355	Ondulado
K14 + 000 a 100	100	12,3	12,3	K14 + 100	50	4,9	9,8	11,05	Ondulado
100 a 200	100	6,33	6,33	K14 + 200	50	9,4	18,8	12,565	Ondulado
200 a 300	100	2	2	K14 + 300	50	13,4	26,8	14,4	Ondulado
300 a 400	100	4,87	4,87	K14 + 400	50	10,7	21,4	13,135	Ondulado
400 a 500	100	18,07	18,07	K14 + 500	50	9,7	19,4	18,735	Ondulado
500 a 600	100	9,88	9,88	K14 + 600	50	3,4	6,8	8,34	Ondulado
600 a 700	100	13,05	13,05	K14 + 700	50	4,3	8,6	10,825	Ondulado
700 a 800	100	5,6	5,6	K14 + 800	50	2,8	5,6	5,6	Ondulado
800 a 900	100	13,52	13,52	K14 + 900	50	2,7	5,4	9,46	Ondulado
900 a K15 + 000	100	13,21	13,21	K15 + 000	50	1,9	3,8	8,505	Ondulado
K15 + 000 a 100	100	5,48	5,48	K15 + 100	50	0,6	1,2	3,34	Plano
100 a 200	100	13,24	13,24	K15 + 200	50	11,2	22,4	17,82	Ondulado
200 a 300	100	13,18	13,18	K15 + 300	50	7,2	14,4	13,79	Ondulado
300 a 400	100	14,13	14,13	K15 + 400	50	6,1	12,2	13,165	Ondulado
400 a 500	100	6,13	6,13	K15 + 500	50	2,7	5,4	5,765	Ondulado
500 a 600	100	12,04	12,04	K15 + 600	50	12,7	25,4	18,72	Ondulado
600 a 700	100	18,83	18,83	K15 + 700	50	10,2	20,4	19,615	Ondulado
700 a 800	100	12	12	K15 + 800	50	19,5	39	25,5	Montañoso
800 a 900	100	4,12	4,12	K15 + 900	50	15,4	30,8	17,46	Ondulado
900 a K16 + 000	100	10,25	10,25	K16 + 000	50	13,6	27,2	18,725	Ondulado
K16 + 000 a 100	100	16,46	16,46	K16 + 100	50	8,7	17,4	16,93	Ondulado
100 a 200	100	10,39	10,39	K16 + 200	50	20,3	40,6	25,495	Montañoso
200 a 300	100	6,05	6,05	K16 + 300	50	10,3	20,6	13,325	Ondulado
300 a 400	100	10,5	10,5	K16 + 400	50	19,9	39,8	25,15	Montañoso
400 a 500	100	11,22	11,22	K16 + 500	50	22,8	45,6	28,41	Montañoso
500 a 600	100	1,08	1,08	K16 + 600	50	3,2	6,4	3,74	Plano
600 a 700	100	0,84	0,84	K16 + 700	50	1,1	2,2	1,52	Plano
700 a 800	100	2	2	K16 + 800	50	1,4	2,8	2,4	Plano
800 a 900	100	1,99	1,99	K16 + 900	50	2,4	4,8	3,395	Plano
900 a K17 + 000	100	0,5	0,5	K17 + 000	50	1,6	3,2	1,85	Plano
K17 + 000 a 100	100	0,55	0,55	K17 + 100	50	0,9	1,8	1,175	Plano
100 a 200	100	4,44	4,44	K17 + 200	50	0,4	0,8	2,62	Plano
200 a 300	100	5,26	5,26	K17 + 300	50	0,3	0,6	2,93	Plano
300 a 400	100	9,13	9,13	K17 + 400	50	8,9	17,8	13,465	Ondulado
400 a 500	100	10,18	10,18	K17 + 500	50	8,8	17,6	13,89	Ondulado
500 a 600	100	7,63	7,63	K17 + 600	50	7,6	15,2	11,415	Ondulado
600 a 700	100	12,94	12,94	K17 + 700	50	13,8	27,6	20,27	Ondulado
700 a 800	100	0,09	0,09	K17 + 800	50	16,2	32,4	16,245	Ondulado
800 a 900	100	4,67	4,67	K17 + 900	50	5,9	11,8	8,235	Ondulado
900 a K18+ 000	100	6,76	6,76	K18 + 000	50	3,9	7,8	7,28	Ondulado
K18 + 000 a 100	100	2,96	2,96	K18 + 100	50	1,7	3,4	3,18	Plano
100 a 200	100	2,57	2,57	K18 + 200	50	4,9	9,8	6,185	Ondulado
200 a 300	100	6,53	6,53	K18 + 300	50	1,9	3,8	5,165	Ondulado
300 a 400	100	12,63	12,63	K18 + 400	50	3,8	7,6	10,115	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T5-2 es **ONDULADO**.

Debido a que no se cuenta con la información necesaria para el cálculo de la pendiente longitudinal en el subtrayecto T5-3, se describirá la pendiente transversal y se determinará por medio de ésta el tipo de terreno. (Ver tabla 15)

Tabla 15. Pendiente transversal - tipo de terreno T5-3.

PENDIENTE TRANSVERSAL				TERRENO
Abscisa	Distancia Horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	
K0 + 100	50	15,2	32,6	Montañoso
K0 + 200	50	32,2	41,10	Montañoso
K0 + 300	50	27,7	38,85	Montañoso
K0 + 400	50	18,5	34,25	Montañoso
K0 + 500	50	10,2	30,10	Montañoso
K0 + 600	50	4,6	27,3	Montañoso
K0 + 700	50	0,6	25,30	Montañoso
K0 + 800	50	0,7	25,35	Montañoso
K0 + 900	50	1,2	25,60	Montañoso
K1 + 000	50	0,8	25,40	Montañoso
K1 + 100	50	1,9	25,95	Montañoso
K1 + 200	50	19,1	34,55	Montañoso
K1 + 300	50	17,2	33,60	Montañoso
K1 + 400	50	7,9	28,95	Montañoso
K1 + 500	50	16,2	33,10	Montañoso
K1 + 600	50	18,8	34,40	Montañoso
K1 + 700	50	6,9	28,45	Montañoso
K1 + 800	50	2,5	26,25	Montañoso
K1 + 900	50	2,2	26,10	Montañoso
K2 + 000	50	6,1	28,05	Montañoso

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T5-3 es **MONTAÑOSO**.

A continuación se detallan los porcentajes de tipo de terreno de los subtrayectos T5-1, T5-2 y T5-3 y se define el terreno que predomina en ellos: (Ver tabla 16)

Tabla 16. Porcentajes tipo de terreno-terreno predominante.

Trayecto	Calzada	Terreno Escarpado %	Terreno Montañoso %	Terreno Ondulado %	Terreno Plano %	Tipo de Terreno Predominante
T5-1	Izquierda	0,00	3,7	73,15	23,15	Ondulado
T5-2	Izquierda	0,00	5,26	77,63	17,11	Ondulado
T5-3	Derecha	0,00	100	0,00	0,00	Montañoso

- **Categoría de la vía:** El proyecto de la Concesión Vial Rumichaca-Pasto-Chachagüi-Aeropuerto Trayecto 5, se clasifica como una **Carretera Principal de una Calzada** debido a que es una Troncal (que va de Sur a Norte) y es el acceso principal a la ciudad de San Juan de Pasto. (Ver tabla 17)

Tabla 17. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.²⁹

Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño Vd (km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera Principal de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Con base en los parámetros anteriormente definidos en cuanto a *tipo de terreno* y *categoría de la vía* e ingresando con estos a la Tabla 17 se determina que la Velocidad de Diseño está entre 60 km/h y 100 km/h para todos los trayectos en estudio, de lo anterior se identifica que **el valor mínimo de Vd corresponde a 60 km/h.**

Comparando este valor Vd, determinado con base a los parámetros establecidos por el INVIAS en su manual del año 1998 y el valor de Vd igual a 50 km/h empleado por DEVÍNAR S.A. para el Diseño Geométrico de este trayecto, se identifica que este último valor no satisface las necesidades mínimas en el diseño de esta carretera.

3.2.1.2 Vehículo de diseño. El vehículo de Diseño fue establecido por DEVÍNAR S.A. con base a estudios de conteo vehicular empleando el método manual y se determinó que éste corresponde a un C3- S2.

²⁹ Ibíd., p.45

3.2.1.3 Distancias de visibilidad. El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998 contempla el estudio de cuatro tipos de distancias de visibilidad como se determina a continuación:

- **Distancia de visibilidad de parada:** "Distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la velocidad de diseño, pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo que aparezca en su trayectoria. La longitud requerida para detener el vehículo en las anteriores condiciones será la suma de dos distancias: la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción y la distancia recorrida durante el frenado.

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (adoptado en 2.0 segundos para efectos de proyecto) se mide desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos. En esta distancia se supone que el vehículo circula con movimiento uniforme a la velocidad de diseño. La distancia recorrida durante el frenado se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente, circulando con movimiento uniformemente desacelerado con velocidad inicial igual a la velocidad de diseño.

La distancia de visibilidad de parada se calculará mediante la siguiente expresión:

$$D_p = 0.556V_d + \frac{V_d^2}{254(f_l \pm p)} \quad [2]$$

Dónde:

D_p: Distancia de visibilidad de parada, (m)

V_d: Velocidad de diseño, (km/h)

f_l: Coeficiente de fricción longitudinal llanta-pavimento

p: Pendiente de la rasante (tanto por uno), + ascenso, - descenso.³⁰

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de parada es necesario determinar el coeficiente de fricción longitudinal llanta - pavimento. (Ver tabla 18)

³⁰ Ibíd., p.50

Tabla 18. Coeficiente de fricción longitudinal para pavimentos húmedos.³¹

Velocidad de diseño Vd (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de Fricción longitudinal (fl)	0.440	0.400	0.370	0.350	0.330	0.320	0.315	0.310	0.305	0.300

A partir de la tabla anterior, se determina fl con base en la velocidad real de diseño Vd = 50 km/h y velocidad teórica mínima de diseño Vd = 60 km/h, cuyos valores son fl = 0.370 y fl = 0.350 respectivamente.

"Para una operación segura de los vehículos al circular sobre curvas verticales, especialmente si son convexas, deben obtenerse distancias de visibilidad adecuadas, como mínimo iguales a la de parada."³²

A. "Curvas verticales convexas: Se presentan dos casos:

- **Primer caso (DV < L):** Cuando el conductor y el objeto están sobre la curva, la distancia de visibilidad determinada es menor que la longitud de la curva.

$$L = \frac{A(DVP)^2}{425} \quad [3]$$

$$DVP = \sqrt{\frac{425L}{A}} \quad [4]$$

- **Segundo caso (DV > L):** Cuando el conductor y el objeto están fuera de la curva, la distancia de visibilidad es mayor que la longitud de la curva.

$$L = 2DVP - \frac{425}{A} \quad [5]$$

$$DVP = \frac{L + \frac{425}{A}}{2} \quad [6]$$

Dónde:

DVP: Distancia de Visibilidad de Parada

³¹ Ibíd.

³² Ibíd., p 112

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, (m)

A: Diferencia algebraica de pendientes, o sea $A = [S1 - S2]$

S1: Pendiente de la tangente de entrada, (%)

S2: Pendiente de la tangente de salida, (%).³³

A continuación, se presenta el análisis de Distancia de Visibilidad de Parada DVP en curvas verticales convexas, debido a que se debe garantizar que exista dicha distancia, puesto que éstas, por su misma forma de inflexión representan te situación crítica para que el usuario se detenga con seguridad ante un obstáculo. El análisis, se basa en calcular la DVP teórica mínima y compararla con la DVP existente en el diseño, dicho análisis esta dado para cada trayecto, para cada calzada y para velocidad real de diseño y velocidad teórica mínima por separado como se muestra a continuación: (Ver tablas 19-22)

Tabla 19. Distancia de visibilidad de parada en perfil t5-1 (Vd real de diseño).

PIV N°	Forma De Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica De Pendientes (A)	Longitud de la Curva Vertical (m)	DV < L	DVP Existente (m)	Vd (km/h)	FI (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepción Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	110	SI	68,98	50	0,37	-0,04913	27,8	30,67	58,47	CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,00	10,111	320	SI	115,98	50	0,37	-0,07	27,8	32,81	60,61	CUMPLE
5	Convexa	6,23	-2,838	9,068	300	SI	118,58	50	0,37	-0,02838	27,8	28,81	56,61	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	440	SI	117,88	50	0,37	-0,06603	27,8	32,38	60,18	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	260	SI	116,93	50	0,37	-0,06924	27,8	32,73	60,53	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,00	14,295	440	SI	114,37	50	0,37	-0,07	27,8	32,81	60,61	CUMPLE
16	Convexa	1,00	-7,00	8,00	250	SI	115,24	50	0,37	-0,07	27,8	32,81	60,61	CUMPLE

Tabla 20. Distancia de visibilidad de parada en perfil t5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

PIV N°	Forma De Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica De Pendientes (A)	Longitud de La Curva Vertical (m)	DV < L	DVP Existente (m)	Vd (km/h)	FI (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepción Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	110	SI	76,63	60	0,35	-0,04913	33,36	47,11	80,47	NO CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,00	10,111	320	SI	181,02	60	0,35	-0,07	33,36	50,62	83,98	CUMPLE
5	Convexa	6,23	-2,838	9,068	300	SI	173,43	60	0,35	-0,02838	33,36	44,07	77,43	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	440	SI	235,79	60	0,35	-0,06603	33,36	49,91	83,27	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	260	SI	156,29	60	0,35	-0,06924	33,36	50,48	83,84	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,00	14,295	440	SI	234,87	60	0,35	-0,07	33,36	50,62	83,98	CUMPLE
16	Convexa	1,00	-7,00	8,00	250	SI	151,56	60	0,35	-0,07	33,36	50,62	83,98	CUMPLE

³³ Ibíd., p 11

Tabla 21. Distancia de visibilidad de parada en perfil t5-2 (Vd real de diseño).

PIV Nº	Forma De Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica De pendientes (A)	Longitud de la Curva Vertical (m)	DV < L	DVP Existente (m)	Vd (km/h)	FI (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepción Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	6,963	-4,410	11,37	360	SI	115,99	50	0,37	-0,0441	27,8	30,20	58,00	CUMPLE
3	Convexa	7,00	-5,624	12,62	400	SI	116,04	50	0,37	-0,05624	27,8	31,37	59,17	CUMPLE
4	Convexa	-5,624	-6,955	1,33	50	NO	126,35	50	0,37	-0,06955	27,8	32,76	60,56	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,94	140	SI	122,94	50	0,37	0,01148	27,8	25,80	53,60	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,00	8,15	260	SI	116,45	50	0,37	-0,0700	27,8	32,81	60,61	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,64	280	SI	117,39	50	0,37	-0,05589	27,8	31,33	59,13	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,49	6,46	250	SI	128,22	50	0,37	0,0049	27,8	26,25	54,05	CUMPLE

Tabla 22. Distancia de visibilidad de parada en perfil t5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

PIV Nº	Forma De Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	Longitud de la Curva Vertical (m)	DV < L	DVP Existente (m)	Vd (km/h)	FI (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepción Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	6,963	-4,410	11,37	360	SI	198,68	60	0,35	-0,0441	33,36	46,33	79,69	CUMPLE
3	Convexa	7,00	-5,624	12,62	400	SI	216,83	60	0,35	-0,05624	33,36	48,25	81,61	CUMPLE
4	Convexa	-5,624	-6,955	1,33	50	NO	184,65	60	0,35	-0,06955	33,36	50,54	83,90	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,94	140	SI	123,98	60	0,35	0,01148	33,36	39,21	72,57	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,00	8,15	260	SI	156,08	60	0,35	-0,0700	33,36	50,62	83,98	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,64	280	SI	164,61	60	0,35	-0,05589	33,36	48,19	81,55	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,49	6,46	250	SI	157,88	60	0,35	0,0049	33,36	39,94	73,30	CUMPLE

La distancia de visibilidad de parada DVP existente en las curvas verticales convexas del trayecto 5 para la velocidad real de diseño (50 km/h) cumple satisfactoriamente, mientras que para la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h) el porcentaje obtenido no es muy considerable. (Ver tabla 23)

Tabla 23. Curvas verticales convexas trayecto 5 que no cumplen DVP mínima.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo Para Vd Real de Diseño = 50 km/h		Chequeo Para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	7	0,00	0	1	14,29
T5-2	Izquierda	7	0,00	0	0	0,00

El parámetro anteriormente analizado no se realizó para el subtrayecto T5-3 debido a que no se cuenta con el diseño en perfil de dicha calzada.

- ✓ **Distancia de visibilidad de adelantamiento:** "Distancia necesaria 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 al iniciarse la maniobra de adelantamiento."³⁴ (Ver tabla 24)

Tabla 24. Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos.

Velocidad de Diseño Vd (km/h)	Mínima Distancia de Visibilidad de Adelantamiento Da (m)
30	150
40	200
50	250
60	300
70	350
80	400
90	450
100	500

Se deberá procurar obtener la máxima longitud posible en que la visibilidad de adelantamiento sea superior a la mínima de la tabla anterior. Por lo tanto, como norma de diseño se debe proyectar, para carreteras de dos carriles dos sentidos, tramos con distancia de visibilidad de adelantamiento, de manera que en tramos de cinco kilómetros, se tengan varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada, de acuerdo a la velocidad de diseño.

En el establecimiento de estos tramos deberá tenerse en cuenta la topografía, la velocidad de diseño y el volumen de tránsito futuro o esperado en el año de diseño.

- ✓ **Distancia de Visibilidad de Cruce:** Distancia de visibilidad libre de obstrucciones, de toda la intersección, de suficiente longitud tal que le permita al conductor reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar una colisión.

Debido a que el presente trabajo no contempla el estudio en intersecciones no se analizará este tipo de distancia de visibilidad.

- ✓ **Distancia de Visibilidad de Encuentro:** "Es la longitud mínima disponible de carretera, visible para los conductores que circulan en sentidos opuestos, obligados a llevar a cabo la maniobra para esquivarse."³⁵

Esta distancia se analiza en proyectos de carreteras terciarias de una sola calzada, en la cual no existe diferenciación de carriles, por lo tanto no es objeto de análisis dentro de este trabajo.

³⁴ Ibid., p.51

³⁵ Ibid.

3.2.1.4 Evaluación de la visibilidad en planos. "La distancia de visibilidad es un elemento que debe tenerse en cuenta desde el principio del proyecto, dada la importancia que tiene tanto en la seguridad como en la capacidad de la futura carretera.

En carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, deben medirse las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento; en carreteras de dos calzadas separadas es suficiente el análisis de visibilidad de parada."³⁶.

Las distancias de visibilidad, tanto de parada como de adelantamiento, se evalúa para cada curva diseñada para planos planta- perfil. De esta manera se podrá apreciar de conjunto todo el trazado y verificar el cumplimiento de un proyecto más equilibrado.

"Para efecto de la medición de las distancias de visibilidad se considera las siguientes alturas:

- ✓ Altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: 1.15 metros.
- ✓ Altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar 0.15 metros.
- ✓ Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: 1.35 metros."³⁷

a. Evaluación y presentación de la visibilidad en planta:

"Como la visibilidad en planta está limitada por la presencia de obstrucciones laterales tales como puentes, edificaciones, vallas, cercas, vegetación alta, etc., es necesario que ellas aparezcan en los planos para realizar la evaluación. Cuando la obstrucción se debe a los taludes de la secciones en corte, se deben dibujar en la planta la líneas o trazas del talud a 0.65 metros (promedio entre 1.15 y 0.15 metros) sobre la calzada para distancia de visibilidad de parada."³⁸

Si la distancia medida sobre el plano, es mayor que la mínima de parada calculada a la velocidad de diseño como se muestra en la tabla 25, se dice entonces que en planta el tramo a partir de la abscisa en estudio, tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo que circula a esa velocidad de diseño pueda realizar una parada con seguridad, sin limitar la capacidad de la carretera. Para el presente trabajo, se analizará la distancia de visibilidad de adelantamiento DVA y la distancia de visibilidad de parada DVP de cada curva

³⁶ Ibid., p 58

³⁷ Ibid., p. 59

³⁸ Ibid., p 59

horizontal y esta se comparó con la DVP teórica calculada como se muestra en seguida. (Ver tabla 25)

Tabla 25. Distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente 0%

Velocidad de Diseño (Km/h)	Distancia durante la percepción y reacción (m)	Coeficiente de fricción longitudinal ft	Distancia durante el frenado (m)	Distancia de Visibilidad de Parada Dp (m)	
				Calculada	Redondeada
30	16.68	0.440	8.05	24.73	25
40	22.24	0.400	15.75	37.99	40
50	27.80	0.370	26.60	54.40	55
60	33.36	0.350	40.49	73.85	75
70	38.92	0.330	58.46	97.38	95
80	44.48	0.320	78.74	123.22	125
90	50.04	0.315	101.24	151.28	150
100	55.60	0.310	127.00	182.60	180
110	61.16	0.305	156.19	217.35	215
120	66.72	0.300	188.98	255.70	255

A continuación se presentan cuadros resumen del análisis de distancia de visibilidad de adelantamiento da para el trayecto 5. (Ver tablas 26-31)

Tabla 26. Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-1 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	148,64	50	250	NO CUMPLE
2	E-C-E	319,19	50	250	CUMPLE
3	E-E	264,61	50	250	CUMPLE
4	E-C-E	173,32	50	250	NO CUMPLE
5	E-C-E	163,79	50	250	NO CUMPLE
6	E-C-E	201,20	50	250	NO CUMPLE
7	Circular	352,52	50	250	CUMPLE
8	E-C-E	148,68	50	250	NO CUMPLE
9	Circular	806,42	50	250	CUMPLE
10	E-C-E	150,92	50	250	NO CUMPLE
11	E-C-E	215,16	50	250	NO CUMPLE
12	E-C-E	139,96	50	250	NO CUMPLE
13	E-C-E	138,67	50	250	NO CUMPLE
14	E-C-E	156,68	50	250	NO CUMPLE
15	E-C-E	198,57	50	250	NO CUMPLE
16	E-C-E	143,65	50	250	NO CUMPLE
17	E-C-E	214,34	50	250	NO CUMPLE
18	E-C-E	193,60	50	250	NO CUMPLE
19	E-C-E	212,43	50	250	NO CUMPLE
20	E-C-E	260,79	50	250	CUMPLE
21	E-C-E	154,15	50	250	NO CUMPLE
22	E-C-E	157,33	50	250	NO CUMPLE
23	E-C-E	151,50	50	250	NO CUMPLE
24	E-C-E	155,42	50	250	NO CUMPLE

Tabla 27. Distancia de visibilidad de adelantamiento T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	148,64	60	300	NO CUMPLE
2	E-C-E	319,19	60	300	CUMPLE
3	E-E	264,61	60	300	NO CUMPLE
4	E-C-E	173,32	60	300	NO CUMPLE
5	E-C-E	163,79	60	300	NO CUMPLE
6	E-C-E	201,20	60	300	NO CUMPLE
7	Circular	352,52	60	300	CUMPLE
8	E-C-E	148,68	60	300	NO CUMPLE
9	Circular	806,42	60	300	CUMPLE
10	E-C-E	150,92	60	300	NO CUMPLE
11	E-C-E	215,16	60	300	NO CUMPLE
12	E-C-E	139,96	60	300	NO CUMPLE
13	E-C-E	138,67	60	300	NO CUMPLE
14	E-C-E	156,68	60	300	NO CUMPLE
15	E-C-E	198,57	60	300	NO CUMPLE
16	E-C-E	143,65	60	300	NO CUMPLE
17	E-C-E	214,34	60	300	NO CUMPLE
18	E-C-E	193,60	60	300	NO CUMPLE
19	E-C-E	212,43	60	300	NO CUMPLE
20	E-C-E	260,79	60	300	CUMPLE
21	E-C-E	154,15	60	300	NO CUMPLE
22	E-C-E	157,33	60	300	NO CUMPLE
23	E-C-E	151,50	60	300	NO CUMPLE
24	E-C-E	155,42	60	300	NO CUMPLE

Tabla 28. Distancia de visibilidad de adelantamiento t5-2 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	185,05	50	250	NO CUMPLE
2	Circular	295,56	50	250	CUMPLE
3	E-C-E	177,73	50	250	NO CUMPLE
4	Circular	267,62	50	250	CUMPLE
5	E-C-E	173,02	50	250	NO CUMPLE
6	E-C-E	194,51	50	250	NO CUMPLE
7	E-C-E	163,97	50	250	NO CUMPLE
8	E-C-E	203,6	50	250	NO CUMPLE
9	E-C-E	177,65	50	250	NO CUMPLE
10	E-C-E	225,51	50	250	NO CUMPLE
11	E-C-E	148,88	50	250	NO CUMPLE
12	E-C-E	244,01	50	250	NO CUMPLE
13	E-C-E	154,7	50	250	NO CUMPLE
14	E-C-E	174,71	50	250	NO CUMPLE
15	Circular	186,41	50	250	NO CUMPLE
16	Circular	175,46	50	250	NO CUMPLE
17	E-C-E	196,47	50	250	NO CUMPLE

Continuación tabla 28.

18	Circular	294,92	50	250	CUMPLE
19	Circular	227,58	50	250	NO CUMPLE

Tabla 29. Distancia de visibilidad de adelantamiento t5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	185,05	60	300	NO CUMPLE
2	Circular	295,56	60	300	NO CUMPLE
3	E-C-E	177,73	60	300	NO CUMPLE
4	Circular	267,62	60	300	NO CUMPLE
5	E-C-E	173,02	60	300	NO CUMPLE
6	E-C-E	194,51	60	300	NO CUMPLE
7	E-C-E	163,97	60	300	NO CUMPLE
8	E-C-E	203,6	60	300	NO CUMPLE
9	E-C-E	177,65	60	300	NO CUMPLE
10	E-C-E	225,51	60	300	NO CUMPLE
11	E-C-E	148,88	60	300	NO CUMPLE
12	E-C-E	244,01	60	300	NO CUMPLE
13	E-C-E	154,7	60	300	NO CUMPLE
14	E-C-E	174,71	60	300	NO CUMPLE
15	Circular	186,41	60	300	NO CUMPLE
16	Circular	175,46	60	300	NO CUMPLE
17	E-C-E	196,47	60	300	NO CUMPLE
18	Circular	294,92	60	300	NO CUMPLE
19	Circular	227,58	60	300	NO CUMPLE

Tabla 30. Distancia de visibilidad de adelantamiento t5-3 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	146,96	50	250	NO CUMPLE
2	E-C-E	172,59	50	250	NO CUMPLE
3	E-C-E	177,48	50	250	NO CUMPLE
4	E-C-E	211,73	50	250	NO CUMPLE
5	E-C-E	122,14	50	250	NO CUMPLE

Tabla 31. Distancia de visibilidad de adelantamiento t5-3 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Da Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	Da Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	146,96	60	300	NO CUMPLE
2	E-C-E	172,59	60	300	NO CUMPLE
3	E-C-E	177,48	60	300	NO CUMPLE
4	E-C-E	211,73	60	300	NO CUMPLE
5	E-C-E	122,14	60	300	NO CUMPLE

Analizando la Distancia de Velocidad de Adelantamiento D_a se determina que no cumple en casi su totalidad lo que indica que este criterio es totalmente inadecuado.

Tabla 32. Curvas trayecto 5 no cumplen da mínima.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo Para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo Para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	19	79,17	21	87,50
T5-2	Izquierda	19	16	84,21	19	100,00
T5-3	Derecha	5	5	100,00	5	100,00

A continuación se presentan cuadros resumen del análisis de Distancia de Visibilidad de Parada DVP para el Trayecto 5. (Ver tablas 33-38)

Tabla 33. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-1 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	122,31	50	55	CUMPLE
2	E-C-E	123,50	50	55	CUMPLE
3	E-E	142,21	50	55	CUMPLE
4	E-C-E	136,16	50	55	CUMPLE
5	E-C-E	152,09	50	55	CUMPLE
6	E-C-E	177,35	50	55	CUMPLE
7	Circular	215,37	50	55	CUMPLE
8	E-C-E	116,89	50	55	CUMPLE
9	Circular	783,28	50	55	CUMPLE
10	E-C-E	154,55	50	55	CUMPLE
11	E-C-E	140,08	50	55	CUMPLE
12	E-C-E	107,46	50	55	CUMPLE
13	E-C-E	119,17	50	55	CUMPLE
14	E-C-E	117,81	50	55	CUMPLE
15	E-C-E	165,31	50	55	CUMPLE
16	E-C-E	232,07	50	55	CUMPLE
17	E-C-E	190,90	50	55	CUMPLE
18	E-C-E	155,08	50	55	CUMPLE
19	E-C-E	196,47	50	55	CUMPLE
20	E-C-E	151,22	50	55	CUMPLE
21	E-C-E	125,98	50	55	CUMPLE
22	E-C-E	143,36	50	55	CUMPLE
23	E-C-E	122,95	50	55	CUMPLE
24	E-C-E	125,60	50	55	CUMPLE

Tabla 34. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP Mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	122,31	60	75	CUMPLE
2	E-C-E	123,50	60	75	CUMPLE
3	E-E	142,21	60	75	CUMPLE
4	E-C-E	136,16	60	75	CUMPLE
5	E-C-E	152,09	60	75	CUMPLE
6	E-C-E	177,35	60	75	CUMPLE
7	Circular	215,37	60	75	CUMPLE
8	E-C-E	148,24	60	75	CUMPLE
9	Circular	162,65	60	75	CUMPLE
10	E-C-E	154,55	60	75	CUMPLE
11	E-C-E	140,08	60	75	CUMPLE
12	E-C-E	107,46	60	75	CUMPLE
13	E-C-E	119,17	60	75	CUMPLE
14	E-C-E	117,81	60	75	CUMPLE
15	E-C-E	165,31	60	75	CUMPLE
16	E-C-E	232,07	60	75	CUMPLE
17	E-C-E	230,90	60	75	CUMPLE
18	E-C-E	155,08	60	75	CUMPLE
19	E-C-E	210,02	60	75	CUMPLE
20	E-C-E	151,22	60	75	CUMPLE
21	E-C-E	125,98	60	75	CUMPLE
22	E-C-E	143,36	60	75	CUMPLE
23	E-C-E	122,95	60	75	CUMPLE
24	E-C-E	145,67	60	75	CUMPLE

Tabla 35. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-2 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	160,03	50	55	CUMPLE
2	Circular	280,94	50	55	CUMPLE
3	E-C-E	155,36	50	55	CUMPLE
4	Circular	168,42	50	55	CUMPLE
5	E-C-E	119,09	50	55	CUMPLE
6	E-C-E	117,69	50	55	CUMPLE
7	E-C-E	150,26	50	55	CUMPLE
8	E-C-E	141,94	50	55	CUMPLE
9	E-C-E	156,08	50	55	CUMPLE
10	E-C-E	214,57	50	55	CUMPLE
11	E-C-E	134,30	50	55	CUMPLE
12	E-C-E	172,74	50	55	CUMPLE
13	E-C-E	136,50	50	55	CUMPLE
14	E-C-E	122,28	50	55	CUMPLE
15	Circular	175,99	50	55	CUMPLE
16	Circular	129,06	50	55	CUMPLE
17	E-C-E	109,11	50	55	CUMPLE
18	Circular	162,72	50	55	CUMPLE
19	Circular	88,56	50	55	CUMPLE

Tabla 36. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	160,03	60	75	CUMPLE
2	Circular	280,94	60	75	CUMPLE
3	E-C-E	155,36	60	75	CUMPLE
4	Circular	168,42	60	75	CUMPLE
5	E-C-E	119,09	60	75	CUMPLE
6	E-C-E	117,69	60	75	CUMPLE
7	E-C-E	150,26	60	75	CUMPLE
8	E-C-E	141,94	60	75	CUMPLE
9	E-C-E	156,08	60	75	CUMPLE
10	E-C-E	214,57	60	75	CUMPLE
11	E-C-E	134,30	60	75	CUMPLE
12	E-C-E	172,74	60	75	CUMPLE
13	E-C-E	136,50	60	75	CUMPLE
14	E-C-E	122,28	60	75	CUMPLE
15	Circular	175,99	60	75	CUMPLE
16	Circular	129,06	60	75	CUMPLE
17	E-C-E	109,11	60	75	CUMPLE
18	Circular	162,72	60	75	CUMPLE
19	Circular	88,56	60	75	CUMPLE

Tabla 37. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-3 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	141,28	50	55	CUMPLE
2	E-C-E	162,75	50	55	CUMPLE
3	E-C-E	169,67	50	55	CUMPLE
4	E-C-E	111,77	50	55	CUMPLE
5	E-C-E	109,04	50	55	CUMPLE

Tabla 38. Distancia de visibilidad de parada en planta t5-3 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	DVP Existente Leída en Planos (m)	Velocidad de Diseño (km/h)	DVP mínima Teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E	141,28	60	75	CUMPLE
2	E-C-E	162,75	60	75	CUMPLE
3	E-C-E	169,67	60	75	CUMPLE
4	E-C-E	111,77	60	75	CUMPLE
5	E-C-E	109,04	60	75	CUMPLE

Analizando la distancia de visibilidad de parada para curvas horizontales del trayecto 5, medida en planos con relación a la DVP teórica mínima, se tiene que para ambas velocidades (real de diseño y teórica mínima de diseño) cumple en su totalidad, como se indica en la siguiente tabla 39.

Tabla 39. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen DVP mínima.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo Para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo Para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	0	0,00
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0	0,00
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00

b. Evaluación de la visibilidad en perfil

"Se recomienda el empleo de una reglilla transparente o de plástico, de bordes paralelos separados 1.35 m a la escala vertical del perfil, con dos líneas paralelas situadas a 0.15 m y 1.15 m del borde superior.

En la rasante de la abscisa en estudio, se coloca el "cero" de la reglilla, la cual se gira hasta que su borde superior sea tangente al perfil del proyecto. En estas condiciones, la distancia desde la estación inicial, hasta el punto del perfil

interceptado por la paralela a 0.15 m indicará la distancia de visibilidad de parada disponible en el perfil."³⁹

De nuevo, si la distancia medida sobre el plano, es mayor que la mínima de parada calculada a la velocidad de diseño, se dice entonces que en perfil el tramo a partir de la abscisa en estudio, tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo que circula a esa velocidad de diseño pueda realizar una parada con seguridad, sin limitar la capacidad de la carretera.

El análisis de DVP sobre planos para diseño vertical y en específico para curvas cuya forma de inflexión son convexas, permite determinar que el valor medido en planos es muy aproximado al obtenido mediante formulas como se indicó en las tablas 8.19 a 8.22, esto permite concluir que es más conveniente aplicar el análisis matemático debido a su precisión.

3.2.2 Diseño en planta del eje de la carretera:

3.2.2.1 Curvas horizontales. Las curvas horizontales que conforman el Diseño Geométrico del Trayecto 5 son en su mayoría curvas Espiral-Circulo- Espiral, en menor número curvas circulares y tan solo unas pocas son curvas Espiral-Espiral.

Radios Mínimos absolutos. "Los radios mínimos absolutos para esta velocidad de diseño, calculados con el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

$$Rm = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})} \quad [7]$$

Donde:

Rm: Radio mínimo absoluto, (m)

V: Velocidad específica, (km/h)

e_{máx}: Peralte máximo asociado a V, en tanto por uno

f_{máx}: Coeficiente de fricción lateral máximo, asociado a V.

La tabla 40, condensa los radios mínimos absolutos para las velocidades específicas indicadas; y sólo podrán ser usados en situaciones extremas, deberá

³⁹ Ibíd., p.59

evitarse su incorporación sorpresiva en tramos que superan las características mínimas, solamente se deben usar para situaciones extremas.

Normalmente resultan justificados radios superiores al mínimo, con peraltes inferiores al máximo, que resultan más cómodos tanto para los vehículos lentos (disminuyendo la incidencia de ft negativos), como para vehículos rápidos (que necesitan menores ft). Si se decide emplear radios mayores que el mínimo, habrá que elegir el peralte en forma tal que la circulación sea cómoda, tanto para los vehículos lentos como para los rápidos.⁴⁰ (Ver tabla 40)

Tabla 40. Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de velocidad específica.

Velocidad Específica V (m/s)	Coeficiente de Fricción Lateral ft (-)	Peralte e (máximo)	Peralte e (mínimo)	Radio mínimo Corregido R (m)	J (cte) (m3/seg)	Rampa de Peralte Δs (%)	
						Max	Min
30	0.180	8.0	2.0	30	0.7	1.28	0.1*a
40	0.172	8.0	2.0	50	0.7	0.96	
50	0.164	8.0	2.0	80	0.7	0.77	
60	0.157	8.0	2.0	120	0.7	0.64	
70	0.149	8.0	2.0	170	0.7	0.55	
80	0.141	7.5	2.0	235	0.6	0.50	
90	0.133	7.0	2.0	315	0.6	0.48	
100	0.126	6.5	2.0	415	0.5	0.45	
110	0.118	6.0	2.0	535	0.5	0.42	
120	0.110	5.5	2.0	690	0.4	0.40	
130	0.100	5.0	2.0	890	0.4	0.40	
140	0.094	4.5	2.0	1100	0.4	0.40	
150	0.087	4.0	2.0	1400	0.4	0.40	

A continuación, se presenta el análisis de radios mínimos absolutos para una velocidad real de diseño y una velocidad teórica mínima de diseño de 50 km/h y 60 km/h respectivamente así: (Ver tablas 41-43)

⁴⁰ Ibíd., p.66

Tabla 41. Chequeo radios mínimos absolutos t5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Vd = 50 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 80 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 120 \text{ m}$
1	E-C-E	80	CUMPLE	NO CUMPLE
2	E-C-E	230	CUMPLE	CUMPLE
3	E-E	244,41	CUMPLE	CUMPLE
4	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
6	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
7	Circular	1000	CUMPLE	CUMPLE
8	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
9	Circular	1000	CUMPLE	CUMPLE
10	E-C-E	240	CUMPLE	CUMPLE
11	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
12	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
13	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
14	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
15	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
16	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
17	E-C-E	230	CUMPLE	CUMPLE
18	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
19	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
20	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
21	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
22	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
23	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
24	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 42. Chequeo radios mínimos absolutos t5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Vd = 50 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 80 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 120 \text{ m}$
1	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
2	Circular	1000	CUMPLE	CUMPLE
3	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
4	Circular	1000	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
6	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
7	E-C-E	235	CUMPLE	CUMPLE
8	E-C-E	235	CUMPLE	CUMPLE
9	E-C-E	235	CUMPLE	CUMPLE
10	E-C-E	235	CUMPLE	CUMPLE
11	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
12	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
13	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
14	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
15	Circular	500	CUMPLE	CUMPLE
16	Circular	500	CUMPLE	CUMPLE
17	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
18	Circular	500	CUMPLE	CUMPLE
19	Circular	250	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 43. Chequeo radios mínimos absolutos t5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Vd = 50 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 80 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $R_{\text{Existente}} > R_{\text{min}}$ $R_{\text{min}} = 120 \text{ m}$
1	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
2	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
3	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
4	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E	250	CUMPLE	CUMPLE

El Diseño Geométrico del trayecto 5, para la velocidad real de diseño de 50 km/h cumple en su totalidad y para la velocidad teórica mínima de diseño de 60 km/h presenta un porcentaje mínimo de curvas que no cumplen este criterio, como se indica en la siguiente tabla: (Ver tabla 44)

Tabla 44. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen radio mínimo.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo Para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo Para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	1	4,17
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0	0,00
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00

Sobreancho de la calzada: "La calzada en algunas curvas es a veces ensanchada, para que las condiciones de operación de los vehículos en ella, sean iguales a las encontradas en la tangente, tal ensanchamiento se denomina sobreancho. Este es necesario para ciertas curvas, debido a que los vehículos ocupan un ancho mayor, cuando transitan sobre el sector curvo, ya que las ruedas traseras siguen una trayectoria diferente, hacia el interior de la curva con respecto a las ruedas delanteras, debido a la rigidez y geometría del vehículo, lo que ocasiona dificultad a los conductores para mantener el vehículo en el carril.

$$S = n * \frac{32}{R} \quad [8]$$

Donde:

S: Sobreancho de la calzada, (m)

R: Radio de la curva, (m)

n: Número de carriles por calzada

Los valores de sobreancho calculados podrán ser redondeados, para obtener valores que sean múltiplos de 0.10 metros.

Para anchos de calzada en recta > 7.00 metros, no se requiere sobreancho, salvo en curvas con ángulo de deflexión mayor a 120°.⁴¹

El valor del sobreancho, estará limitado para curvas de radio menor a 117 metros, para valores menores o iguales a este, genera sobreanchos mayores o iguales a

⁴¹ Ibíd., Pp. 73 - 75

0.6 m que son constructivamente adecuados y se debe aplicar solamente en el borde interior de la calzada.

Debido a que el ancho de calzada existente en el Diseño Geométrico del Trayecto 6 es equivalente, a 7.3 metros mayores a 7.0 metros, el análisis de sobreancho solo se efectuara para curvas horizontales que presenten una deflexión total mayor a 120 grados $A > 120^\circ$ y radios R menores a 117 metros, así: (Ver tablas 45 -48)

Tabla 45. Chequeo sobreancho curvas horizontales T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Deflexión Total ($\Delta T > 120^\circ$)	Radio $R \leq 117m$	Sobreancho Existente (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	$S_{Existente} \geq S_{Calculado}$
1	E-C-E		80	0.00	0.8	NO CUMPLE
2	E-C-E		230	0.00	0.3	NO APLICA
3	E-E		244.41	0.00	0.3	NO APLICA
4	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
5	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
6	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
7	Circular		1000	0.00	0.1	NO APLICA
8	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
9	Circular		1000	0.00	0.1	NO APLICA
10	E-C-E		240	0.00	0.3	NO APLICA
11	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
12	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
13	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
14	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
15	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
16	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
17	E-C-E		230	0.00	0.3	NO APLICA
18	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
19	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
20	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
21	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
22	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
23	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
24	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA

Tabla 46. Chequeo sobreancho curvas horizontales t5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Deflexión Total ($\Delta T > 120^\circ$)	Radio $R \leq 117m$	Sobreeancho Existente (m)	Sobreeancho Mínimo Calculado (m)	$S_{Existente} \geq S_{Calculado}$
25	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
26	Circular		1000	0.00	0.1	NO APLICA
27	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
28	Circular		1000	0.00	0.1	NO APLICA
29	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
30	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
31	E-C-E		235	0.00	0.3	NO APLICA
32	E-C-E		235	0.00	0.3	NO APLICA
33	E-C-E		235	0.00	0.3	NO APLICA
34	E-C-E		235	0.00	0.3	NO APLICA
35	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
36	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
37	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
38	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
39	Circular		500	0.00	0.1	NO APLICA
40	Circular		500	0.00	0.1	NO APLICA
41	E-C-E		250	0.00	0.3	NO APLICA
42	Circular		500	0.00	0.1	NO APLICA
43	Circular		250	0.00	0.3	NO APLICA

Tabla 47. Chequeo sobreancho curvas horizontales t5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Deflexión Total ($\Delta T > 120^\circ$)	Radio $R \leq 117m$	Sobreeancho Existente (m)	Sobreeancho Mínimo Calculado (m)	$S_{Existente} \geq S_{Calculado}$
1	E-C-E		250	0,00	0,3	NO APLICA
2	E-C-E		250	0,00	0,3	NO APLICA
3	E-C-E		250	0,00	0,3	NO APLICA
4	E-C-E		250	0,00	0,3	NO APLICA
5	E-C-E		250	0,00	0,3	NO APLICA

En el diseño geométrico del trayecto 5, ninguna de las curvas horizontales cuenta con sobreancho, por lo tanto el sobreancho mínimo constructivamente no aplica ya que se encuentra por encima de los parámetros estipulados en la norma. El porcentaje de curvas que no cumplen con este parámetro se especifican a continuación:

Tabla 48. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen sobreancho mínimo y sobreanchos que constructivamente no aplica.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Curvas que no Cumplen Sobreancho Mínimo		Chequeo para Curvas que Constructivamente no Aplica	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	1	4,17	23	100,00
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	19	100,00
T5-3	Derecha	5	0	0,00	5	100,00

Visibilidad en curvas horizontales: "La visibilidad de la vía en una curva en planta puede verse limitada por obstáculos situados en el interior de la misma: taludes en corte, vegetación, muros de contención, barreras de seguridad, que limitan la visibilidad. Para evitar esta restricción, debe existir una distancia mínima permitida entre el eje del carril interior, que se toma como trayectoria del vehículo, el radio R1, y el obstáculo lateral, que permite a lo largo del sector circular conservar siempre una distancia de visibilidad de parada mayor o igual a la mínima especificada.

En general, en el interior de una curva horizontal hay que despejar, por tanto, de obstáculos en una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos cuya distancia es igual a la de visibilidad deseada. Por lo mismo, el proyectista debe determinar la flecha (M) del arco subtendido por la curva que pasa por el punto de obstrucción lateral, que coincide con la dirección de la visual entre el vehículo y el obstáculo.

Análisis geométrico: El valor mínimo de la flecha (M) aceptable, para proveer al conductor de la distancia de visibilidad de parada admisible en cualquier curva puede calcularse mediante la siguiente relación:

$$M = R_1 \left(1 - \cos \left(\frac{28.65 \cdot DVP}{R_1} \right) \right) \quad [9]$$

$$R_1 = R - S - \frac{C}{4} \quad [10]$$

Donde:

M: Flecha u ordenada, distancia del eje del carril interior al obstáculo, (m)

R1: Radio del eje del carril interior, que se asimila a la trayectoria del vehículo, (m)

R: Radio de cálculo de la curva horizontal, (m)

DVP: Distancia de visibilidad de parada, (m)

S: Sobreancho de la curva, correspondiente al radio R, (m)

C/4: Cuarta parte de la calzada, dispuesta en recta, (m)⁴²

Tabla 49. Chequeo flecha m curvas horizontales t5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio curva Horizontal R (m)	Sobreancho curva Horizontal S (m)	Ancho Calzada a (m)	Radio Eje Carril Interior R1 (m)	DVP Existente (m)	Flecha Diseño M (m)
1	E-C-E	80	0,00	7,3	78,18	122,31	22,73
2	E-C-E	230	0,00	7,3	228,18	123,50	8,31
3	E-E	244,41	0,00	7,3	242,59	142,21	10,35
4	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	136,16	9,28
5	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	152,09	11,56
6	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	177,35	15,68
7	Circular	1000	0,00	7,3	998,18	215,37	5,80
8	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	116,89	6,85
9	Circular	1000	0,00	7,3	998,18	783,28	75,86
10	E-C-E	240	0,00	7,3	238,18	154,55	12,43
11	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	140,08	9,82
12	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	107,46	5,79
13	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	119,17	7,12
14	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	117,81	6,96
15	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	165,31	13,64
16	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	232,07	26,64
17	E-C-E	230	0,00	7,3	228,18	190,90	19,68
18	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	155,08	12,02
19	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	196,47	19,19
20	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	151,22	11,43
21	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	125,98	7,95
22	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	143,36	10,28
23	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	122,95	7,58
24	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	125,60	7,90

⁴² Ibíd., Pp.76-77

Tabla 50. Chequeo flecha m curvas horizontales t5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio curva Horizontal R (m)	Sobreancho curva Horizontal S (m)	Ancho Calzada a (m)	Radio Eje Carril Interior R1 (m)	DVP Existente (m)	Flecha Diseño M (m)
1	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	160,03	12,79
2	Circular	1000	0,00	7,3	998,18	280,94	9,87
3	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	155,36	12,06
4	Circular	1000	0,00	7,3	998,18	168,42	3,55
5	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	119,09	7,11
6	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	117,69	6,95
7	E-C-E	235	0,00	7,3	233,18	150,26	12,00
8	E-C-E	235	0,00	7,3	233,18	141,94	10,72
9	E-C-E	235	0,00	7,3	233,18	156,08	12,94
10	E-C-E	235	0,00	7,3	233,18	214,57	24,25
11	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	134,30	9,03
12	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	172,74	14,88
13	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	136,50	9,33
14	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	122,28	7,49
15	Circular	500	0,00	7,3	498,18	175,99	7,75
16	Circular	500	0,00	7,3	498,18	129,06	4,17
17	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	109,11	5,97
18	Circular	500	0,00	7,3	498,18	162,72	6,63
19	Circular	250	0,00	7,3	248,18	88,56	3,94

Tabla 51. Chequeo flecha m curvas horizontales t5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio curva Horizontal R (m)	Sobreancho curva Horizontal S (m)	Ancho Calzada a (m)	Radio Eje Carril Interior R1 (m)	DVP Existente (m)	Flecha Diseño M (m)
1	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	141,28	9,99
2	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	162,75	13,22
3	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	169,67	14,36
4	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	111,77	6,27
5	E-C-E	250	0,00	7,3	248,18	109,04	5,97

El análisis anterior se presenta como referencia para el estudio de la flecha M en curvas horizontales del trayecto 5, debido a que no se cuenta con la información de obstáculos laterales que limiten la visibilidad del usuario durante su recorrido, no se puede chequear el cumplimiento de este parámetro.

Curvas espirales: "Son las curvas de transición alineaciones de curvatura variable con su recorrido; y su objeto es suavizar las discontinuidades de la curvatura y el peralte. Se evita con ellas, por tanto, un cambio brusco de la aceleración radial, y en el control de la dirección del vehículo; y se dispone de longitudes suficientes, que permiten establecer un peralte y un sobreancho adecuados, modificar el ancho de la calzada y realzar la estética de la vía."

* *Empalme Espiral - Círculo - Espiral*: Corresponde al empalme de dos líneas rectas mediante arcos de transición y un arco circular de radio único definido ($R_1 = R_2$). En el caso de tener parámetros A_1 y A_2 diferentes para cada espiral, se trata de un empalme asimétrico, y si aquellos son iguales, se trata de un empalme simétrico.

Aquí y en el empalme Espiral - Espiral, la clotoide o espiral de Euler; viene determinada por la siguiente expresión:

$$A^2 = R \cdot l \quad [11]$$

Donde:

A: Parámetro de la clotoide, (m)

L: Longitud desde el origen a los puntos indicados, (m)

R: Radios en los puntos indicados, (m)

La clotoide se puede definir como una curva tal que su radio es inversamente proporcional a su longitud.

Este empalme debe cumplir la condición: $\theta_{e1} + \theta_{e2} + \Delta_c = \Delta$.

Longitud circular mínima: "La longitud circular mínima aceptable en este caso, corresponde a la distancia que puede recorrer un móvil a la velocidad de diseño durante 1 segundo. Son deseables longitudes mayores dentro de las limitaciones de la configuración topográfica del sector."⁴³ Para lo cual se efectúa el siguiente análisis: (Ver tabla 52)

⁴³ Ibíd., p 92

Tabla 52. Chequeo longitud circular mínima t5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	Vd = 50 km/h $L_{c\text{Existente}} \geq L_{c\text{min}}$ $L_{c\text{min}} = 13,9 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $L_{c\text{Existente}} \geq L_{c\text{min}}$ $L_{c\text{min}} = 16,7 \text{ m}$
1	E-C-E	106,67	CUMPLE	CUMPLE
2	E-C-E	11,94	NO CUMPLE	NO CUMPLE
3	E-E	0,00	NO APLICA	NO APLICA
4	E-C-E	23,58	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E	136,69	CUMPLE	CUMPLE
6	E-C-E	211,90	CUMPLE	CUMPLE
7	Circular	159,75	CUMPLE	CUMPLE
8	E-C-E	50,26	CUMPLE	CUMPLE
9	Circular	106,94	CUMPLE	CUMPLE
10	E-C-E	148,66	CUMPLE	CUMPLE
11	E-C-E	60,90	CUMPLE	CUMPLE
12	E-C-E	81,04	CUMPLE	CUMPLE
13	E-C-E	49,72	CUMPLE	CUMPLE
14	E-C-E	67,88	CUMPLE	CUMPLE
15	E-C-E	183,72	CUMPLE	CUMPLE
16	E-C-E	48,84	CUMPLE	CUMPLE
17	E-C-E	249,10	CUMPLE	CUMPLE
18	E-C-E	216,07	CUMPLE	CUMPLE
19	E-C-E	267,95	CUMPLE	CUMPLE
20	E-C-E	25,42	CUMPLE	CUMPLE
21	E-C-E	36,94	CUMPLE	CUMPLE
22	E-C-E	98,76	CUMPLE	CUMPLE
23	E-C-E	82,79	CUMPLE	CUMPLE
24	E-C-E	152,35	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 53. Chequeo longitud circular mínima t5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	Vd = 50 km/h $L_{C\text{Existente}} \geq L_{C\text{min}}$ $L_{C\text{min}} = 13,9 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $L_{C\text{Existente}} \geq L_{C\text{min}}$ $L_{C\text{min}} = 16,7 \text{ m}$
1	E-C-E	152,35	CUMPLE	CUMPLE
2	Circular	440,86	CUMPLE	CUMPLE
3	E-C-E	103,82	CUMPLE	CUMPLE
4	Circular	329,15	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E	110,4	CUMPLE	CUMPLE
6	E-C-E	67,89	CUMPLE	CUMPLE
7	E-C-E	206,74	CUMPLE	CUMPLE
8	E-C-E	115,01	CUMPLE	CUMPLE
9	E-C-E	152,43	CUMPLE	CUMPLE
10	E-C-E	412,18	CUMPLE	CUMPLE
11	E-C-E	47,38	CUMPLE	CUMPLE
12	E-C-E	167,05	CUMPLE	CUMPLE
13	E-C-E	35,54	CUMPLE	CUMPLE
14	E-C-E	7,03	NO CUMPLE	NO CUMPLE
15	Circular	129,29	CUMPLE	CUMPLE
16	Circular	149,82	CUMPLE	CUMPLE
17	E-C-E	96,96	CUMPLE	CUMPLE
18	Circular	147,41	CUMPLE	CUMPLE
19	Circular	103,59	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 54. Chequeo longitud circular mínima t5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	Vd = 50 km/h $L_{C\text{Existente}} \geq L_{C\text{min}}$ $L_{C\text{min}} = 13,9 \text{ m}$	Vd = 60 km/h $L_{C\text{Existente}} \geq L_{C\text{min}}$ $L_{C\text{min}} = 16,7 \text{ m}$
1	E-C-E	61,96	CUMPLE	CUMPLE
2	E-C-E	187,74	CUMPLE	CUMPLE
3	E-C-E	155,17	CUMPLE	CUMPLE
4	E-C-E	8,66	NO CUMPLE	NO CUMPLE
5	E-C-E	58,59	CUMPLE	CUMPLE

Los porcentajes de las curvas horizontales con empalme Espiral - Circulo – Espiral y empalme Circular que presentan una longitud circular menor a la mínima para el diseño geométrico del Trayecto 5 se relacionan en la siguiente tabla tanto para la velocidad real de diseño (50 km/h) como para la velocidad teórica mínima de diseño (km/h). (Ver tabla 55)

Tabla 55. Curvas horizontales con empalme E-C-E trayecto 5 No cumplen longitud circular mínima.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	1	4,17	1	4,17
T5-2	Izquierda	19	1	5,26	1	5,26
T5-3	Derecha	5	1	20,00	1	20,00

Empalme espiral – espiral: “Corresponde al empalme de dos líneas rectas mediante dos ramas de espiral de radio único definido ($R_1 = R_2$). Para este caso:

$$\theta e_1 + \theta e_2 = \Delta \quad [12]$$

Este tipo de empalme está limitado a casos en que la deflexión total no sobrepase los 20° ; además, el ángulo θe de cada una de las espirales estará limitado a un valor máximo de 10° ; debiendo buscarse siempre que éstos sean iguales.”⁴⁴

Teniendo en cuenta la limitación que presentan las curvas Espiral-Espiral se realiza el siguiente análisis: (Ver tabla 56)

Tabla 56. Chequeo deflexión Δt y angulo Θe T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Deflexión Total Existente (ΔT)	Angulo Espiral Existente (θe)	Chequeo $\Delta T \leq 20^\circ$	Chequeo $\theta e \leq 10^\circ$
3	E-E Sim	$17^\circ 34' 56''$ I	$8^\circ 47' 28''$	CUMPLE	CUMPLE

El porcentaje de la curva horizontal con empalme Espiral-Espiral cumple con las limitaciones de deflexiones para ser diseñada como tal para el diseño geométrico del Trayecto 5. (Ver tabla 57)

Tabla 57. Curvas horizontales con empalme E-E trayecto 5 no cumplen con deflexiones máximas.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Empalme E-E	Chequeo para Curvas que No cumplen con $\Delta T \leq 20^\circ$ y $\theta e \leq 10^\circ$	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	1	0	0,00

⁴⁴ Ibíd., p. 93

Valores límite en el diseño de una espiral clotoide: "Las bondades del arco de transición denominado Clotoide, en comparación con el empleo del arco circular, son evidentes, cuando en el diseño se utilizan los siguientes valores límite, como una medida de mantener condiciones geométricas y dinámicas de conducción aceptables:

a) Determinación del parámetro mínimo de la clotoide, A min.

El parámetro mínimo de la clotoide, se establece con base en el estudio y análisis de tres criterios relacionados, con la comodidad y seguridad del usuario de la vía.

El valor del parámetro de diseño, se tomará de acuerdo con la envolvente superior de los valores determinados para cada uno de los criterios establecidos.

- Criterio I. Variación uniforme de la fuerza centrífuga (J), no compensada por el peralte; su valor se determina mediante la siguiente relación:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{Ve * R}{46.656 * J} \left(\frac{Ve^2}{R} - 1.27(e) \right)} \quad [13]$$

- Criterio II. Limitación por transición del peralte, en la determinación de los valores del parámetro mínimo, se tendrá en cuenta la inclinación máxima permitida de la rampa de peraltes (As). Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de 3.00, 3.30, 3.50 y de 3.65 metros.

$$A_{min} = \sqrt{R * \frac{e * a}{As}} \quad [14]$$

- Criterio III. Condición de percepción y de estética, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura, orientando adecuadamente al conductor y creando alineamientos armoniosos.

Para ello, es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- Criterio III. 1. Se asume el disloque mínimo de 0.25 m.

$$A_{min} \geq \sqrt[3]{6 * R^3} \quad [15]$$

- Criterio III.2. Ángulo de giro de la espiral mínimo de 3 grados, $\theta_e \geq 3$ grados.

$$A_{mín} = 0.3236 \cdot R$$

[16]

Donde:

A_{mín}: Parámetro mínimo, (m)

V_e: Velocidad específica, (km/h)

R: Radio de cálculo de la clotoide, (m)

J: Variación de la aceleración centrífuga, en m/s³

e: Peralte de la curva, (%)

a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada, (m)

Δs: Inclinación de la rampa de peraltes, (%).

b) Además, el valor máximo del parámetro (A_{máx}), debe ser igual a 1.1 veces el radio de cálculo de la espiral: A_{máx} = 1.1 R

c) Para terrenos de topografía muy difícil, en los cuales sólo tienen aplicación radios pequeños, es indispensable colocar mayores anchos de calzada, para mantener condiciones de conducción favorables al usuario de vehículos pesados tipo camión.

d) En algunos casos excepcionales, puede ser necesario utilizar valores inferiores a los estipulados en los puntos anteriores, llegándose a un mínimo radio del eje de la calzada de 12.50 metros y el borde interior no menor a 5.30 metros. El valor del parámetro del arco de transición podrá entonces estar contenido en el rango comprendido entre $R < A < 1.2 R$, donde A es el parámetro de la clotoide, en metros; y R es el radio último de la clotoide, por el eje, en metros."⁴⁵

A continuación se presenta el análisis de longitud mínima y máxima teórica de espiral con respecto a la longitud de espiral existe a partir del parámetro A_{mín} y A_{máx}. (Ver tablas 58-60)

⁴⁵ Ibíd., Pp. 88-91

Tabla 58. Chequeo longitud espiral Lemin y Lemáx (velocidad real de diseño)
T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amin (m)	Criterio II Amin (m)	Criterio III 1 Amin (m)	Criterio III 2 Amin (m)	Envolverte Superior Amin (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLeSLeLemáx
1	E-C-E	8,0	80,00	45,00	50,82	55,08	41,87	25,89	55,08	88,00	37,92	96,80	CUMPLE
2	E-C-E	7,5	230,00	65,00	21,76	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
3	E-E	7,4	244,41	75,00	17,63	92,59	96,74	79,09	96,74	268,85	38,29	295,74	CUMPLE
4	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
5	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
6	E-C-E	7,4	250,00	89,40	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
7	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
8	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
9	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
10	E-C-E	7,5	240,00	65,00	18,10	92,37	95,43	77,66	95,43	264,00	37,95	290,40	CUMPLE
11	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E	7,4	250,00	50,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
14	E-C-E	7,4	250,00	85,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
15	E-C-E	7,4	250,00	85,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
16	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
17	E-C-E	7,5	230,00	56,00	21,76	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
18	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
19	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
20	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
21	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
22	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
23	E-C-E	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
24	E-C-E	7,4	250,00	45,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE

Tabla 59. Chequeo longitud espiral Lemin y Lemáx (velocidad real de diseño)
T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amin (m)	Criterio II Amin (m)	Criterio III 1 Amin (m)	Criterio III 2 Amin (m)	Envolvente Superior Amin (m)	A máx (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo L _{emin} ≤ L _e ≤ L _{emax}
1	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
2	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
3	E-C-E	7,40	250	75,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
4	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
5	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
6	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
7	E-C-E	7,50	235	65,00	20,01	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
8	E-C-E	7,50	235	65,00	20,01	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
9	E-C-E	7,50	235	65,00	20,01	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
10	E-C-E	7,50	235	65,00	20,01	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
11	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E	7,40	250	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
14	E-C-E	7,40	250	85,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
15	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
16	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
17	E-C-E	7,40	250	85,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
18	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
19	Circular	7,40	250	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

Tabla 60. Chequeo longitud espiral Lemin y Lemáx (velocidad real de diseño)
T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amin (m)	Criterio II Amin (m)	Criterio III 1 Amin (m)	Criterio III 2 Amin (m)	Envolvente Superior Amin (m)	A máx (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo L _{emin} ≤ L _e ≤ L _{emax}
1	E-C-E	7,80	250	75,00	5,998	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
2	E-C-E	7,80	250	55,00	5,998	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
3	E-C-E	7,80	250	85,00	5,998	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
4	E-C-E	7,80	250	65,00	5,998	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
5	E-C-E	7,80	250	45,00	5,998	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE

El diseño geométrico del trayecto 5 para la velocidad real de diseño de 50 Km/h y para la velocidad teórica mínima de diseño 60 Km/h cumple satisfactoriamente, debido a que el trayecto presenta curvas circulares existe un porcentaje en la cual este criterio no aplica constructivamente, como se indica en la siguiente tabla 61.

Tabla 61. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud de espiral Le.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h		Chequeo para Curvas que Constructivamente no Aplica	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	0	0,00	2	8,33
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0	0,00	6	31,58
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Transición del peralte:

- Peralte

"El peralte es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que transita por un alineamiento en curva. Dicha acción está contrarrestada también por el rozamiento entre ruedas y pavimento.

El análisis de las fuerzas que actúan sobre el vehículo cuando este se mueve alrededor de una curva de radio constante, indica que el peralte máximo está dado por la ecuación:

$$e + f_t = \frac{V^2}{127R} \quad [17]$$

Donde:

e: Peralte en metros por metro

f_t: Coeficiente de fricción lateral

V: Velocidad del vehículo, (km/h)

R: Radio de la curva, (m)"⁴⁶

"Para carreteras de tipo rural se fija un peralte máximo de 0.08 (8%), el cual permite mantener aceptables velocidades específicas y no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores."⁴⁷

El valor de coeficiente de fricción lateral f_t, está determinado por numerosos factores, como estado de las superficies en contacto, velocidad del vehículo, presión de inflado etc. El valor de f_t, se determina en función de la velocidad específica, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Debido a la falta de información en cuanto a velocidades específicas empleadas en el cálculo del peralte de cada curva horizontal, el chequeo de este parámetro se hará indirectamente, verificando que el peralte dado en cada empalme corresponda a una velocidad específica que se encuentre dentro del rango permitido de acuerdo al criterio de consistencia enunciado en el Manual del INVIAS, año 1998.

⁴⁶ Ibíd., p.65

⁴⁷ Ibíd., p 66

Respecto a la velocidad específica el manual estipula que en carreteras convencionales de velocidad de diseño hasta 90 km/h las velocidades específicas no deberán sobrepasar en 30 km/h la velocidad de diseño del tramo correspondiente. Por lo tanto, la velocidad específica para este análisis debe estar entre 50 y 60 km/h, de tal manera que el peralte será adecuado (CUMPLE) siempre y cuando se asocie una velocidad comprendida en el rango anteriormente determinado. (Ver tablas 62 -64)

Tabla 62. Chequeo de peralte asociado a la velocidad específica T5-1.

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica V (m/s)	Radio R (m)	Coefficiente de Fricción Lateral ft (-)	Peralte e% (Diseño)	Peralte e% (Máximo)	Chequeo
1	E-C-E	49,79	80,00	0,164	8,00	8,00	CUMPLE
2	E-C-E	84,42	230,00	0,164	7,50	8,00	CUMPLE
3	E-E	87,03	244,41	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
4	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
5	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
6	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
7	Circular	176,03	1000,00	0,164	4,70	8,00	CUMPLE
8	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
9	Circular	176,03	1000,00	0,164	4,70	8,00	CUMPLE
10	E-C-E	86,24	240,00	0,164	7,50	8,00	CUMPLE
11	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
12	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
13	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
14	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
15	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
16	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
17	E-C-E	84,42	230,00	0,164	7,50	8,00	CUMPLE
18	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
19	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
20	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
21	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
22	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
23	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE
24	E-C-E	88,02	250,00	0,164	7,40	8,00	CUMPLE

Tabla 63. Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T5-2.

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica V (m/s)	Radio R (m)	Coefficiente de Fricción Lateral ft (-)	Peralte e% (Diseño)	Peralte e% (Máximo)	Chequeo
1	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
2	Circular	163,70	1000	0,164	4,7	8,00	CUMPLE
3	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
4	Circular	163,70	1000	0,164	4,7	8,00	CUMPLE
5	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
6	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
7	E-C-E	84,46	235	0,164	7,5	8,00	CUMPLE
8	E-C-E	84,46	235	0,164	7,5	8,00	CUMPLE
9	E-C-E	84,46	235	0,164	7,5	8,00	CUMPLE
10	E-C-E	84,46	235	0,164	7,5	8,00	CUMPLE
11	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
12	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
13	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
14	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
15	Circular	119,53	500	0,164	6,1	8,00	CUMPLE
16	Circular	119,53	500	0,164	6,1	8,00	CUMPLE
17	E-C-E	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE
18	Circular	119,53	500	0,164	6,1	8,00	CUMPLE
19	Circular	86,93	250	0,164	7,4	8,00	CUMPLE

Tabla 64. Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T5-3.

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica V (m/s)	Radio R (m)	Coefficiente de Fricción Lateral ft (-)	Peralte e% (Diseño)	Peralte e% (Máximo)	Chequeo
1	E-C-E	87,66	250	0,164	7,80	8,00	CUMPLE
2	E-C-E	87,66	250	0,164	7,80	8,00	CUMPLE
3	E-C-E	87,66	250	0,164	7,80	8,00	CUMPLE
4	E-C-E	87,66	250	0,164	7,80	8,00	CUMPLE
5	E-C-E	87,66	250	0,164	7,80	8,00	CUMPLE

De acuerdo con el análisis de peralte en curvas horizontales espiralizadas del trayecto 5 asociado a la velocidad específica, se determina que en un 100% cumplen con este criterio tal como se muestra a continuación:

Tabla 65. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen peralte asociado a velocidad especifica.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Curvas con Radio no Inferior a 80m	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00
T5-2	Izquierda	19	0	0,00
T5-3	Izquierda	5	0	0,00

- Transición del peralte

"Las longitudes de transición, se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a levantarse, partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se conforma el peralte total para cada curva, la longitud de transición para terrenos ondulado, montañoso y escarpado corresponde a la longitud de la espiral más la distancia requerida, de acuerdo con la pendiente de la rampa de peraltes, para levantar el borde externo del bombeo normal a la nivelación con el eje. Para terrenos planos con uso de espirales cuyo radio y longitud sea alto, la longitud de transición puede ser igual a la longitud de la espiral

Estos valores de la pendiente garantizan no solamente la comodidad de la marcha de los vehículos, sino una buena apariencia de la carretera; y cualquiera que sea el sistema seguido para conformar el peralte total, no deben ser excedidos."⁴⁸

"La transición del peraltado se debe realizar conjuntamente con la de la curvatura, en tal forma que calzada y bermas formen un solo plano en las secciones peraltadas."⁴⁹

La determinación numérica de la longitud de transición se establece mediante la relación:

$$Lt = Le + X(m) \quad [18]$$

El valor de X se determina mediante la ecuación siguiente:

$$X = \frac{BN * Le}{e} \quad [19]$$

Donde:

Lt: Longitud de transición, (m)

Le: Longitud de espiral, (m)

X: Longitud de desarrollo del bombeo normal, (m)

BN: Bombeo Normal (%)

e: Peralte (%)

⁴⁸ Ibid., p.67

⁴⁹ Ibid. p 69

Para el diseño, se evaluará las longitudes de transición de peralte para cada empalme presente en los trayectos T5-1, T5-2 y T5-3, verificando que estas sean adecuadas al proyecto en estudio. A continuación, se presenta el análisis para cada trayecto: (Ver tablas 66-67)

Tabla 66. Longitud de transición T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (diseño)	Valor Le (m)	Longitud Transición Teórica Lt (m)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	Chequeo Ltd $\geq$ Lt
1	E-C-E	8,00	45,00	56,25	56,25	CUMPLE
2	E-C-E	7,50	65,00	82,33	82,33	CUMPLE
3	E-E	7,40	75,00	95,27	79,40	NO CUMPLE
4	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
5	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
6	E-C-E	7,40	89,40	113,56	113,56	CUMPLE
7	Circular	4,70	22,28	15,60	61,60	CUMPLE
8	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
9	Circular	4,70	22,28	15,60	61,60	CUMPLE
10	E-C-E	7,50	65,00	82,33	82,33	CUMPLE
11	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
12	E-C-E	7,40	50,00	63,51	69,30	CUMPLE
13	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
14	E-C-E	7,40	85,00	107,97	105,50	NO CUMPLE
15	E-C-E	7,40	85,00	107,97	125,00	CUMPLE
16	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
17	E-C-E	7,50	56,00	70,93	70,93	CUMPLE
18	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
19	E-C-E	7,40	65,00	82,57	100,90	CUMPLE
20	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
21	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
22	E-C-E	7,40	65,00	82,57	104,00	CUMPLE
23	E-C-E	7,40	45,00	57,16	82,57	CUMPLE
24	E-C-E	7,40	65,00	82,57	64,00	NO CUMPLE

Tabla 67. Longitud de transición T5-2.

PI Nº	Tipo de Empalme	Peralte e% (diseño)	Valor Le (m)	Longitud Transición Teórica Lt (m)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	Chequeo Ltd ≥ Lt
1	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
2	Circular	4,70	22,28	15,60	61,60	CUMPLE
3	E-C-E	7,40	75,00	95,27	95,27	CUMPLE
4	Circular	4,70	22,28	15,60	61,60	CUMPLE
5	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
6	E-C-E	7,40	65,00	82,57	82,57	CUMPLE
7	E-C-E	7,50	65,00	82,33	81,57	NO CUMPLE
8	E-C-E	7,50	65,00	82,33	97,30	CUMPLE
9	E-C-E	7,50	65,00	82,33	82,33	CUMPLE
10	E-C-E	7,50	65,00	82,33	94,78	CUMPLE
11	E-C-E	7,40	65,00	82,57	79,21	NO CUMPLE
12	E-C-E	7,40	65,00	82,57	91,43	CUMPLE
13	E-C-E	7,40	65,00	82,57	95,11	CUMPLE
14	E-C-E	7,40	85,00	107,97	107,97	CUMPLE
15	Circular	6,10	28,92	20,24	82,00	CUMPLE
16	Circular	6,10	28,92	20,24	70,70	CUMPLE
17	E-C-E	7,40	85,00	107,97	107,97	CUMPLE
18	Circular	6,10	28,92	20,24	70,70	CUMPLE
19	Circular	7,40	35,08	24,55	68,30	CUMPLE

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil del subtrayecto T5-3, no se realiza el análisis del criterio de longitud de transición de diseño Ltd.

Se determinó que las curvas horizontales del trayecto 5 presentan un porcentaje apreciable de longitudes de transición adecuadas, principalmente en el tipo de empalme Circular, mientras que para curvas con empalme E-C-E y E-E presentan un pequeño porcentaje de curvas que no cumplen. (Ver tabla 68)

Tabla 68. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud de transición.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo Longitud Transición Empalme Circular			Chequeo Longitud Transición Empalme E-C-E			Chequeo Longitud Transición Empalme E-E		
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total Tipo Circular	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total Tipo E-C-E	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total	Porcentaje Curvas no Cumple Respecto al Total Tipo E-E
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	0,00	2	8,33	9,52	1	4,17	100,00
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0,00	2	10,53	15,38	0	0,00	0,00

- Rampa de peralte

"Se define la rampa de peraltes, como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma, y se determina por:

$$\Delta S = \frac{ef - ei}{L} * a \quad [20]$$

Donde:

Δs: Inclinação longitudinal de la rampa de peraltes, (%)

L: Longitud del tramo correspondiente, (m)

ef: Peralte al finalizar el tramo, (%)

ei: Peralte al iniciar el tramo, (%)

a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada

En la siguiente tabla presenta los valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peraltes. La pendiente mínima, está determinada, para cualquier velocidad de diseño como la décima parte de la distancia entre el eje de giro y el borde de la calzada."⁵⁰

En el desarrollo se presentará el análisis de rampa de peraltes, para verificar su cumplimiento entre valores máximos y mínimos, logrando establecer que la longitud de transición empleada en cada empalme sea adecuada; debido a que si se encuentra por encima del valor máximo, la longitud de transición será muy corta causando un inicio anticipado de la parte circular en la transición y si por el contrario el valor de la rampa de peraltes se encuentra por debajo del mínimo estipulado, provocará que la longitud de transición se prolongue más allá del inicio del tramo circular, lo cual en general causa problemas operativos y funcionales en el diseño geométrico. (Ver tablas 69-74)

Tabla 69. Rampa de peralte T5-1 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de Transición Lt (m)	Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	56,25	45,00	8,00	3,65	0,65	0,77	0,37	CUMPLE	
2	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
3	E-E	79,40	75,00	7,40	3,65	0,36	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
5	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
6	E-C-E	113,56	89,40	7,40	3,65	0,30	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
7	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
8	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
9	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
10	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	

⁵⁰ Ibíd., p.69

Continuación tabla 69.

11	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
12	E-C-E	69,30	50,00	7,40	3,65	0,54	0,77	0,37	CUMPLE	
13	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
14	E-C-E	105,50	85,00	7,40	3,65	0,32	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
15	E-C-E	125,00	85,00	7,40	3,65	0,32	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
16	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
17	E-C-E	70,93	56,00	7,50	3,65	0,49	0,77	0,37	CUMPLE	
18	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
19	E-C-E	100,90	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
20	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
21	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
22	E-C-E	104,00	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
23	E-C-E	82,57	45,00	7,40	3,65	0,60	0,77	0,37	CUMPLE	
24	E-C-E	64,00	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	

Tabla 70. Rampa de peralte T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de Transición Lt (m)	Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	56,25	45,00	8,00	3,65	0,65	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
2	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
3	E-E	79,40	75,00	7,40	3,65	0,36	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
5	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
6	E-C-E	113,56	89,40	7,40	3,65	0,30	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
7	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
8	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
9	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
10	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
11	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
12	E-C-E	69,30	50,00	7,40	3,65	0,54	0,64	0,37	CUMPLE	
13	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
14	E-C-E	105,50	85,00	7,40	3,65	0,32	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
15	E-C-E	125,00	85,00	7,40	3,65	0,32	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
16	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
17	E-C-E	70,93	56,00	7,50	3,65	0,49	0,64	0,37	CUMPLE	
18	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
19	E-C-E	100,90	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
20	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
21	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
22	E-C-E	104,00	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
23	E-C-E	82,57	45,00	7,40	3,65	0,60	0,64	0,37	CUMPLE	
24	E-C-E	64,00	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	

Tabla 71. Rampa de peralte T5-2 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de transición Lt (m)	Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
2	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
3	E-C-E	95,27	75,00	7,40	3,65	0,36	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
5	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
6	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
7	E-C-E	81,57	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
8	E-C-E	97,30	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
9	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
10	E-C-E	94,78	65,00	7,50	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
11	E-C-E	79,21	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
12	E-C-E	91,43	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
13	E-C-E	95,11	65,00	7,40	3,65	0,42	0,77	0,37	CUMPLE	
14	E-C-E	107,97	85,00	7,40	3,65	0,32	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
15	Circular	82,00	28,92	6,10	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
16	Circular	70,70	28,92	6,10	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
17	E-C-E	107,97	85,00	7,40	3,65	0,32	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
18	Circular	70,70	28,92	6,10	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	
19	Circular	68,30	35,08	7,40	3,65	0,77	0,77	0,37	CUMPLE	

Tabla 72. Rampa de peralte T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de transición Lt (m)	L (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
2	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
3	E-C-E	95,27	75,00	7,40	3,65	0,36	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	Circular	61,60	22,28	4,70	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
5	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
6	E-C-E	82,57	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
7	E-C-E	81,57	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
8	E-C-E	97,30	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
9	E-C-E	82,33	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
10	E-C-E	94,78	65,00	7,50	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
11	E-C-E	79,21	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
12	E-C-E	91,43	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
13	E-C-E	95,11	65,00	7,40	3,65	0,42	0,64	0,37	CUMPLE	
14	E-C-E	107,97	85,00	7,40	3,65	0,32	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
15	Circular	82,00	28,92	6,10	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
16	Circular	70,70	28,92	6,10	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
17	E-C-E	107,97	85,00	7,40	3,65	0,32	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
18	Circular	70,70	28,92	6,10	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
19	Circular	68,30	35,08	7,40	3,65	0,77	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada

Tabla 73. Rampa de peralte T5-3 (Vd real de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de transición Lt (m)	Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	84,87	75	7,80	3,65	0,38	0,77	0,37	CUMPLE	
2	E-C-E	62,31	55	7,80	3,65	0,52	0,77	0,37	CUMPLE	
3	E-C-E	96,15	85	7,80	3,65	0,33	0,77	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	E-C-E	73,59	65	7,80	3,65	0,44	0,77	0,37	CUMPLE	
5	E-C-E	51,03	45	7,80	3,65	0,63	0,77	0,37	CUMPLE	

Tabla 74. Rampa de peralte T5-3 (Vd teórica mínima de diseño).

PI N°	Tipo de Empalme	Longitud de transición Lt (m)	Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E	84,87	75	7,80	3,65	0,38	0,64	0,37	CUMPLE	
2	E-C-E	62,31	55	7,80	3,65	0,52	0,64	0,37	CUMPLE	
3	E-C-E	96,15	85	7,80	3,65	0,33	0,64	0,37	NO CUMPLE	Longitud de Transición Inadecuada
4	E-C-E	73,59	65	7,80	3,65	0,44	0,64	0,37	CUMPLE	
5	E-C-E	51,03	45	7,80	3,65	0,63	0,64	0,37	CUMPLE	

El diseño geométrico del trayecto 5 para la velocidad real de diseño de 50 Km/h presenta un bajo porcentaje de curvas espirales en las cuales la Rampa de Peralte ΔS de diseño está por fuera del rango comprendido entre la ΔS_{max} , y $\Delta S_{mín}$. determinados por el INVIAS en su manual del año 1998 y para la velocidad teórica mínima de diseño 60 Km/h el porcentaje es mayor, tal como se indica en la siguiente tabla 75:

Tabla 75. Curvas horizontales trayecto 5 No cumplen rampa de peralte.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	24	4	16,67	7	29,17
T5-2	Izquierda	19	3	15,79	9	47,37
T5-3	Derecha	5	1	20,00	1	20,00

Entretangencia horizontal: “El análisis se presenta, teniendo en cuenta dos situaciones:

a. Curvas de distinto sentido: Considerando el empleo de curvas de transición, puede prescindirse de tramos de entretangencia rectos. Si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente mínima para rampa de peraltes y por espacio recorrido a la velocidad de diseño en un tiempo no menor de 5 segundos.

b. Curvas del mismo sentido: Por su misma naturaleza, deben considerarse indeseables en cualquier proyecto de carreteras, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Para garantizar la comodidad y seguridad del usuario, la entretangencia para el diseño en terreno ondulado, montañoso y escarpado con espirales, no puede ser menor a 5 segundos y para diseños en terreno plano con arcos circulares, no menor a 15 segundos de la velocidad de diseño. Como por dificultades del terreno, son a veces imposibles de evitar, se debe intentar siempre el reemplazo por una sola.

Se debe procurar que la longitud máxima de recta no sea superior a 15 veces la menor de las velocidades específicas de las curvas adyacentes.

$L_{\text{máxima de tangente (m)}} = 15 \text{ veces velocidad específica menor (km/h)}$

A continuación se presenta el análisis de entretangencia horizontal para cada Trayecto y para cada calzada por separado. (Ver tablas 76 -81)

Tabla 76. Entretangencia horizontal T5-1 (Vd real de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "Del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima (m)	Observación
1	140.14	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
2	232.14	E-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
3	268.92	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
4	411.49	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
5	615.65	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
6	474.42	Circular	NO	50	69,44	750	CUMPLE
7	222.73	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
8	162.44	Circular	NO	50	69,44	750	CUMPLE
9	549.55	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
10	125.92	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
11	1.72	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
12	32.15	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
13	410.95	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
14	26.82	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
15	132.58	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
16	114.97	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
17	7.81	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
18	28.89	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
19	225.25	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
20	132.96	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
21	33.8	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
22	153.16	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
23	1.42	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
24	370.35	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE

Tabla 77. Entretangencia horizontal T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "Del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima(m)	Observación
1	140.14	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
2	232.14	E-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
3	268.92	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
4	411.49	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
5	615.65	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
6	474.42	Circular	NO	60	69,44	900	CUMPLE
7	222.73	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
8	162.44	Circular	NO	60	69,44	900	CUMPLE
9	549.55	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
10	125.92	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
11	1.72	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
12	32.15	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
13	410.95	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
14	26.82	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
15	132.58	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
16	114.97	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
17	7.81	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
18	28.89	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
19	225.25	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
20	132.96	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE
21	33.8	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
22	153.16	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
23	1.42	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
24	370.35	E-C-E	SI	60	69,44	900	CUMPLE

Tabla 78. Entretangencia horizontal T5-2 (Vd real de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima(m)	Observación
1	370,34	Circular	NO	50	69,44	750	CUMPLE
2	312.13	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
3	232.32	Circular	SI	50	69,44	750	CUMPLE
4	280.13	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE
5	355.17	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
6	218	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
7	351.55	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
8	23.59	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
9	28.25	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
10	19.78	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
11	59.58	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
12	13.9	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
13	19.69	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
14	85.48	Circular	NO	50	69,44	750	CUMPLE
15	59.15	Circular	SI	50	69,44	750	NO CUMPLE
16	171.94	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
17	129.49	Circular	NO	50	69,44	750	CUMPLE
18	414.73	Circular	SI	50	69,44	750	CUMPLE

Tabla 79. Entretangencia horizontal T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima(m)	Observación
1	370,34	Circular	NO	60	83,33	900	CUMPLE
2	312.13	E-C-E	SI	60	83,33	900	CUMPLE
3	232.32	Circular	SI	60	83,33	900	CUMPLE
4	280.13	E-C-E	SI	60	83,33	900	CUMPLE
5	355.17	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
6	218	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
7	351.55	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
8	23.59	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
9	28.25	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
10	19.78	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
11	59.58	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
12	13.9	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
13	19.69	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
14	85.48	Circular	NO	60	83,33	900	CUMPLE
15	59.15	Circular	SI	60	83,33	900	NO CUMPLE
16	171.94	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
17	129.49	Circular	NO	60	83,33	900	CUMPLE
18	414.73	Circular	SI	60	83,33	900	CUMPLE

Tabla 80. Entretangencia horizontal T5-3 (Vd real de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima(m)	Observación
1	196,54	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
2	207,22	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
3	142,56	E-C-E	NO	50	0,00	750	CUMPLE
4	399,1	E-C-E	SI	50	69,44	750	CUMPLE

Tabla 81. Entretangencia horizontal T5-3 (Vd Teórica mínima de diseño).

Entretangencia N°	Longitud Entretangencia (m)	Tipo de Curvas Adyacentes	Curva Adyacente "del Mismo Sentido"	Vd (Km/h)	Entretangencia Teórica Mínima (m)	Entretangencia Teórica Máxima(m)	Observación
1	196,54	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
2	207,22	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
3	142,56	E-C-E	NO	60	0,00	900	CUMPLE
4	399,1	E-C-E	SI	60	83,33	900	CUMPLE

En esencia, el chequeo del valor teórico mínimo para entretangencias horizontales se basa en el concepto para curvas espirales y radica en curvas consecutivas del mismo sentido ya que para las de distinto sentido se puede prescindir de este valor y por ende como mínimo el valor teórico de entretangencia puede ser cero (0).

En la siguiente tabla, se representa los porcentajes de las entretangencias horizontales que no cumplen con el valor teórico mínimo para curvas adyacentes del mismo sentido.

En el diseño geométrico del trayecto 5 para el criterio de entretangencias horizontales para la velocidad real de diseño de 50 km/h y para la velocidad teórica mínima de diseño 60 km/h se puede concluir que cumple un gran porcentaje, según la siguiente tabla 82:

Tabla 82. Entretangencias horizontales trayecto 5 no cumplen entretangencia.

Trayecto	Calzada	Total de Entretangencias	Chequeo para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Entretangencias no Cumple	Porcentaje de Entretangencias no Cumple	Numero de Entretangencias no Cumple	Porcentaje de Entretangencias no Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	0	0,00
T5-2	Izquierda	19	1	5,26	1	5,26
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00

3.2.3 Diseño vertical. En cuanto al diseño vertical se refiere, está compuesto por curvas cuya forma de inflexión se pueden clasificar en dos: cóncavas ó convexas, las cuales se encuentran unidas mediante entretangencias a las que es posible evaluarles ciertos parámetros como lo es la longitud critica.

“Sin importar su forma de inflexión las curvas verticales corresponden a una parábola cuadrática, cuyos elementos principales y expresiones matemáticas se muestran a continuación:

$$E = \frac{A}{200L} \left(\frac{L}{2} \right)^2 \quad [21]$$

$$Y = \frac{A}{200L} X^2 \quad [22]$$

Esta última corresponde a la expresión general de una parábola cuadrática. Las variables que aparecen en las expresiones anteriores corresponden a:

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, (m)

A: Diferencia algebraica de pendientes, o sea $A = |S_1 - S_2|$

S₁: Pendiente de la tangente de entrada, (%)

S₂: Pendiente de la tangente de salida, (%)

E: Externa_ Ordenada vertical desde el PIV a la curva

X: Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o PTV, (m)

Y: Ordenada vertical en cualquier punto (m)⁵¹

3.2.3.1 Pendiente. "La pendiente gobernadora es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea de subrasante para vencer un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar estos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de guía a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno."⁵²

⁵¹ Ibíd., p.113

⁵² Ibíd., p 107

En la tabla siguiente se incluyen las pendientes máximas recomendadas a utilizar en función del tipo de carretera, tipo de terreno y velocidad de diseño: (Ver tabla 83)

Tabla 83. Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño.⁵³

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Primaria de Dos Calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	4	3	3	3
	Ondulado	-	-	-	-	-	5	5	4	4	4
	Montañoso	-	-	-	-	-	6	6	5	5	5
	Escarpado	-	-	-	-	-	7	6	6	6	-
Primaria de Una Calzada	Plano	-	-	-	-	5	4	4	3	-	-
	Ondulado	-	-	-	6	6	5	5	4	-	-
	Montañoso	-	-	-	8	7	7	6	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	8	8	7	-	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	7	7	7	6	-	-	-	-
	Ondulado	-	11	10	10	9	8	-	-	-	-
	Montañoso	-	12	11	11	10	-	-	-	-	-
	Escarpado	15	14	13	12	-	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	7	7	7	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	11	11	10	10	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	14	13	13	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	16	15	14	-	-	-	-	-	-	-

"Respecto a valores mínimos para pendiente longitudinal, éstos están determinados por las condiciones de drenaje. De todas maneras, la inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la calzada no será menor que 0.5%; salvo justificación, no se proyectarán longitudes de rampas o pendientes cuya distancia de recorrido a la velocidad de diseño sea inferior a 10 segundos, dicha longitud se medirá entre vértices contiguos."⁵⁴

⁵³ Ibid., p.108

⁵⁴ Ibid., p 108

El análisis de pendientes, se efectuará para cada subtrayecto en estudio así: (Ver tablas 84-85)

Tabla 84. Pendiente diseño vertical T5-1.

Alineamiento Vertical N°	Pendiente Existente en (%)	Vd = 50km/h $m_{\text{Existente}} \leq m_{\text{max}}$ $m_{\text{max}} = **$	Vd = 60km/h $m_{\text{Existente}} \leq m_{\text{max}}$ $m_{\text{max}} = 6\%$
1	-4,913	*	CUMPLE
2	3,111	*	CUMPLE
3	-7,000	*	NO CUMPLE
4	6,230	*	NO CUMPLE
5	-2,838	*	CUMPLE
6	2,714	*	CUMPLE
7	6,855	*	NO CUMPLE
8	-6,603	*	NO CUMPLE
9	-1,907	*	CUMPLE
10	1,158	*	CUMPLE
11	-6,924	*	NO CUMPLE
12	7,295	*	NO CUMPLE
13	-7,000	*	NO CUMPLE
14	-3,688	*	CUMPLE
15	1,000	*	CUMPLE
16	-7,000	*	NO CUMPLE
17	6,963	*	NO CUMPLE

Tabla 85. Pendiente diseño vertical T5-2.

Alineamiento Vertical N°	Pendiente Existente en (%)	Vd = 50km/h $m_{\text{Existente}} \leq m_{\text{max}}$ $m_{\text{max}} = **$	Vd = 60km/h $m_{\text{Existente}} \leq m_{\text{max}}$ $m_{\text{max}} = 6\%$
1	-4,41	*	CUMPLE
2	7,00	*	NO CUMPLE
3	-5,62	*	CUMPLE
4	-6,96	*	NO CUMPLE
5	5,01	*	CUMPLE
6	1,15	*	CUMPLE
7	-7,00	*	NO CUMPLE
8	3,01	*	CUMPLE
9	-5,59	*	CUMPLE
10	1,72	*	CUMPLE
11	6,95	*	NO CUMPLE
12	0,49	*	CUMPLE

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil del subtrayecto T5-3, no se realizará el análisis de pendientes del diseño vertical.

Nota * y **: Teniendo en cuenta que el trayecto 5 es una carretera principal de una calzada y en el cual el terreno predominante es el terreno ondulado y montañoso el INVIAS en su manual del año 1998, no especifica pendiente máxima para una

velocidad de 50 km/h. Por ende, no se realiza análisis para dicha velocidad que corresponde a la adoptada para el Diseño Geométrico, por lo cual el estudio de este parámetro solo se efectúa para una velocidad de 60 km/h.

Al efectuar el análisis de pendientes del diseño vertical para la velocidad teórica mínima de diseño de 60 km/h se puede determinar que hay que tener en cuenta este parámetro ya que presenta porcentajes considerables, en especial el tramo T5-1, tal como se muestra en la tabla siguiente: (Ver tabla 86)

Tabla 86. Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen pendiente.

Trayecto	Calzada	Total de Entretangencias	Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Entretangencias no Cumple	Porcentaje de Entretangencias no Cumple
T5-1	Izquierda	17	9	52,94
T5-2	Izquierda	12	4	33,33

3.2.3.2 Longitud crítica. "Para que el diseño sea completo, además del porcentaje de pendiente es necesario estudiar su longitud. Se introduce aquí el concepto de Longitud Crítica de una pendiente, definida como la máxima longitud en rampa (subida) sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Para establecer éstos valores es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Relación peso/potencia de los vehículos pesados
- Pendiente óptima para estos vehículos
- Velocidad con la cual se inicia el ascenso; y
- Velocidad mínima aceptada en la pendiente

Todos estos factores son variables y dependen del tipo de vehículo predominante, de la velocidad de diseño, de la carretera, y de las velocidades de operación aceptadas.

Para la determinación de la longitud crítica de la pendiente, se ha considerado como base el valor de la reducción de la velocidad de los vehículos pesados que esté por debajo de la velocidad promedio de operación. Se considera que la longitud crítica es aquella que ocasiona una reducción de 25 kilómetros por hora en la velocidad de operación.

Con el propósito de simplificar el concepto de "Longitud Crítica de una Pendiente", se definirá ésta como la distancia horizontal medida desde el comienzo de una pendiente, necesaria para lograr una altura de 15 m respecto al mismo origen.

Este concepto, aparentemente independiente de la velocidad de diseño y de los demás factores ya enumerados, cubre la mayoría de los casos presentados.

Para proyectos de carreteras en los cuales se supere la Longitud Crítica y de Tránsito Promedio Diario superior a 1000 vehículos, será necesario, por efectos de capacidad y nivel de servicio, estudiar la posibilidad de construir "vías lentas" o carriles adicionales o carriles para tránsito lento, contra la de buscar un mejor desarrollo u otras; la condición económica más favorable fijará el camino a seguir.

El criterio anteriormente presentado sobre "Longitud Crítica de una Pendiente", sólo podrá ser aplicado a pendientes superiores al 3%, considerándose que las pendientes inferiores a este valor no la tienen."⁵⁵

En el diseño vertical, la "Longitud Crítica de una Pendiente", es un aspecto muy importante de analizarse, debido a que optimiza la funcionalidad de la carretera, previniendo el flujo vehicular lento debido al tráfico pesado, optándose en casos críticos por la construcción de carriles adicionales. (Ver tablas 87 -88)

Tabla 87. Longitud crítica de pendiente T5-1.

Alineamiento Vertical N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Longitud Crítica de Pendiente	Observaciones
1	Convexa	4,913	-4,913	30,531	
2	Cóncava	-4,913	3,111	NO APLICA	
3	Convexa	3,111	-7,000	48,222	
4	Cóncava	-7,000	6,230	NO APLICA	
5	Convexa	6,230	-2,838	24,078	
6	Cóncava	-2,838	2,714	NO APLICA	
7	Cóncava	2,714	6,855	NO APLICA	Pendiente < 3%
8	Convexa	6,855	-6,603	21,882	
9	Cóncava	-6,603	-1,907	NO APLICA	
10	Cóncava	-1,907	1,158	NO APLICA	
11	Convexa	1,158	-6,924	NO APLICA	Pendiente < 3%
12	Cóncava	-6,924	7,295	NO APLICA	
13	Convexa	7,295	-7,000	20,561	
14	Cóncava	-7,000	-3,688	NO APLICA	
15	Cóncava	-3,688	1,000	NO APLICA	
16	Convexa	1,000	-7,000	NO APLICA	Pendiente < 3%
17	Cóncava	-7,000	6,963	NO APLICA	

⁵⁵ Ibíd., p.108

Tabla 88. Longitud crítica de pendiente T5-2.

Alineamiento Vertical N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Longitud Crítica de Pendiente	Observaciones
1	Convexa	6,963	-4,410	21,542	
2	Cóncava	-4,410	7,000	NO APLICA	
3	Convexa	7,000	-5,624	21,429	
4	Convexa	-5,624	-6,955	NO APLICA	
5	Cóncava	-6,955	5,010	NO APLICA	
6	Convexa	5,085	1,148	29,497	
7	Convexa	1,148	-7,000	NO APLICA	Pendiente < 3%
8	Cóncava	-7,000	3,047	NO APLICA	
9	Convexa	3,047	-5,589	49,235	
10	Cóncava	-5,589	1,718	NO APLICA	
11	Cóncava	1,718	6,953	NO APLICA	Pendiente < 3%
12	Convexa	6,953	0,490	21,574	

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil, no se realizara el análisis de longitud crítica para el subtrayecto T5-3.

3.2.3.3 Curvas verticales. "Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el origen de ésta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra A. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas.

Para una operación segura de los vehículos al circular sobre curvas verticales, especialmente si son convexas, deben obtenerse distancias de visibilidad adecuadas, como mínimo iguales a la distancia de visibilidad de parada.

Debido a los efectos dinámicos, para que exista comodidad es necesario que la variación de pendiente sea gradual, situación que resulta más crítica en las curvas cóncavas, por actuar las fuerzas de gravedad y centrífuga en la misma dirección. Debe también tenerse en cuenta el aspecto estético, puesto que las curvas demasiado cortas pueden llegar a dar la sensación de quiebre repentino, hecho que produce cierta incomodidad."⁵⁶

⁵⁶ Ibíd., p.112

Longitud mínima de curvas verticales: "La longitud mínima de una curva vertical puede determinarse empleando los límites inferiores fijados por investigadores en forma empírica para pequeños valores de A y mediante la siguiente relación matemática:

$$L = K \cdot A \quad [23]$$

En donde:

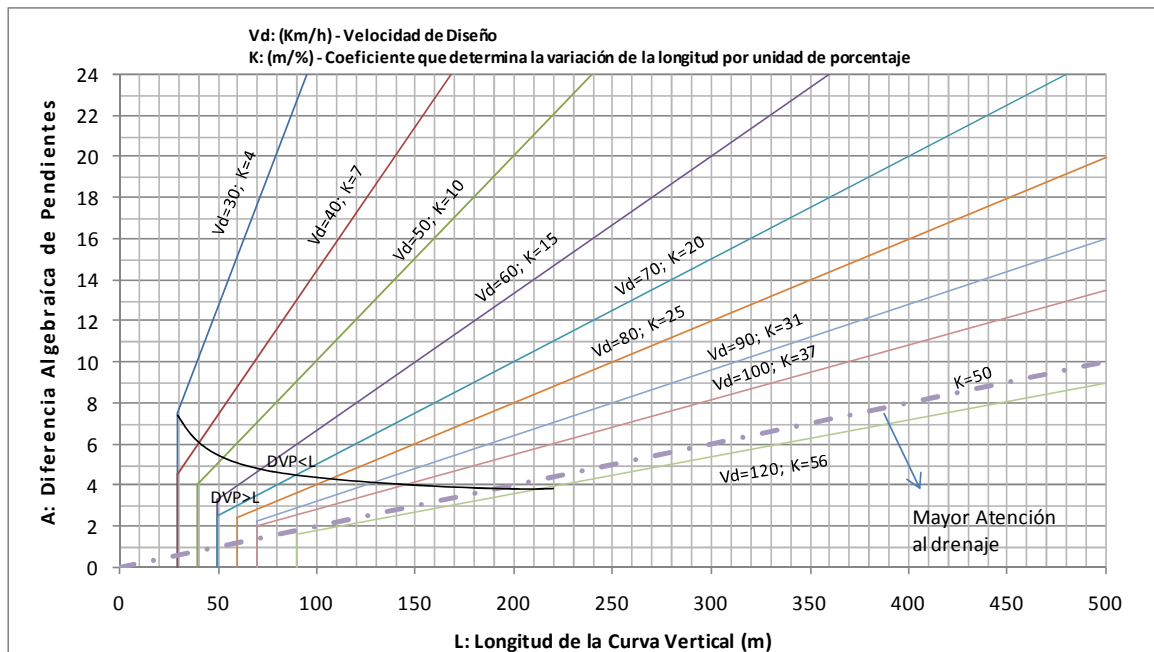
L: Longitud de la curva vertical, (m)

K: Factor que establece, para una determinada velocidad, condiciones óptimas de visibilidad y drenaje en el sector de la curva, (m/%)

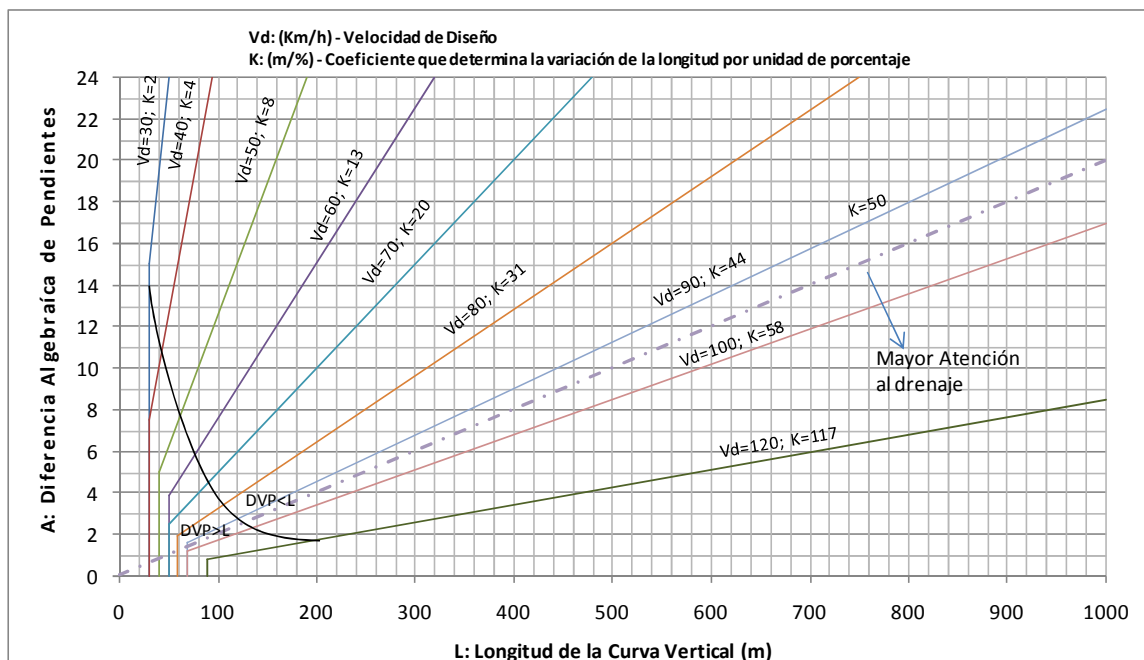
A: Diferencia algebraica de pendientes en el PIV, (%)

Las gráficas 1 y 2, permiten la determinación de la longitud mínima, en función de la velocidad de diseño y la diferencia algebraica de pendientes correspondiente:

Gráfica 1. Longitudes y parámetros mínimos - curvas verticales convexas.



Gráfica 2. Longitudes y parámetros mínimos - curvas verticales cóncavas.



Existen valores de límite inferior obtenidos en forma empírica, para cada velocidad de diseño, los cuales están representados en los gráficos mediante líneas verticales.⁵⁷

El análisis de longitud mínima de curvas verticales, se efectuará para cada subtrayecto del proyecto en estudio, tal como se muestra en los siguientes formatos de estudio: (Ver tablas 89-92)

⁵⁷ Ibíd., p.119

Tabla 89. Longitud mínima curvas verticales T5-1 (Vd real de diseño).

Curva N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	Velocidad (km/h)	Longitud Mínima Curva Vertical Lm(m)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	Chequeo $L \geq L_m$
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	50	78,608	110.00	CUMPLE
2	Cóncava	-4,913	3,111	8,042	50	80,420	130.00	CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,000	10,111	50	80,888	320.00	CUMPLE
4	Cóncava	-7,000	6,230	13,230	50	132,300	500.00	CUMPLE
5	Convexa	6,230	-2,838	9,068	50	72,544	300.00	CUMPLE
6	Cóncava	-2,838	2,714	5,552	50	55,520	140.00	CUMPLE
7	Cóncava	2,714	6,855	4,141	50	41,410	120.00	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	50	107,664	440.00	CUMPLE
9	Cóncava	-6,603	-1,907	4,696	50	46,960	180.00	CUMPLE
10	Cóncava	-1,907	1,158	3,065	50	30,650	100.00	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	50	64,656	260.00	CUMPLE
12	Cóncava	-6,924	7,295	14,219	50	142,190	340.00	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,000	14,295	50	114,360	440.00	CUMPLE
14	Cóncava	-7,000	-3,688	3,312	50	33,120	90.00	CUMPLE
15	Cóncava	-3,688	1,000	4,688	50	46,880	120.00	CUMPLE
16	Convexa	1,000	-7,000	8,000	50	64,000	250.00	CUMPLE
17	Cóncava	-7,000	6,963	13,963	50	139,630	360.00	CUMPLE

Tabla 90. Longitud mínima curvas verticales T5-1 (Vd teórica mínima de diseño).

Curva N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	Velocidad (km/h)	Longitud Mínima Curva Vertical Lm(m)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	Chequeo $L \geq L_m$
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	60	127,738	110.00	NO CUMPLE
2	Cóncava	-4,913	3,111	8,042	60	120,630	130.00	CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,000	10,111	60	131,443	320.00	CUMPLE
4	Cóncava	-7,000	6,230	13,230	60	198,450	500.00	CUMPLE
5	Convexa	6,230	-2,838	9,068	60	117,884	300.00	CUMPLE
6	Cóncava	-2,838	2,714	5,552	60	83,280	140.00	CUMPLE
7	Cóncava	2,714	6,855	4,141	60	62,115	120.00	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	60	174,954	440.00	CUMPLE
9	Cóncava	-6,603	-1,907	4,696	60	70,440	180.00	CUMPLE
10	Cóncava	-1,907	1,158	3,065	60	45,975	100.00	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	60	105,066	260.00	CUMPLE
12	Cóncava	-6,924	7,295	14,219	60	213,285	340.00	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,000	14,295	60	185,835	440.00	CUMPLE
14	Cóncava	-7,000	-3,688	3,312	60	49,680	90.00	CUMPLE
15	Cóncava	-3,688	1,000	4,688	60	70,320	120.00	CUMPLE
16	Convexa	1,000	-7,000	8,000	60	104,000	250.00	CUMPLE
17	Cóncava	-7,000	6,963	13,963	60	209,445	360.00	CUMPLE

Tabla 91. Longitud mínima curvas verticales T5-2 (Vd real de diseño).

Curva N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	Velocidad (km/h)	Longitud Mínima Curva Vertical Lm(m)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	Chequeo $L \geq L_m$
1	Convexa	6,963	-4,410	11,373	50	90,98	360	CUMPLE
2	Cóncava	-4,410	7,000	11,410	50	114,10	290	CUMPLE
3	Convexa	7,000	-5,624	12,624	50	100,99	400	CUMPLE
4	Convexa	-5,624	-6,955	1,331	50	40,00	50	CUMPLE
5	Cóncava	-6,955	5,010	11,970	50	95,76	320	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,937	50	40,00	140	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,000	8,148	50	65,18	260	CUMPLE
8	Cóncava	-7,000	3,047	10,050	50	100,50	260	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,636	50	69,09	280	CUMPLE
10	Cóncava	-5,589	1,718	7,310	50	73,10	180	CUMPLE
11	Cóncava	1,718	6,953	5,240	50	52,40	160	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,490	6,463	50	51,70	250	CUMPLE

Tabla 92. Longitud mínima curvas verticales T5-2 (Vd teórica mínima de diseño).

Curva N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	Velocidad (km/h)	Longitud Mínima Curva Vertical Lm(m)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	Chequeo $L \geq L_m$
1	Convexa	6,963	-4,410	11,37	60	147,85	360	CUMPLE
2	Cóncava	-4,410	7,00	11,41	60	171,15	290	CUMPLE
3	Convexa	7,00	-5,624	12,62	60	164,11	400	CUMPLE
4	Convexa	-5,624	-6,955	1,33	60	50,00	50	CUMPLE
5	Cóncava	-6,955	5,01	11,97	60	179,55	320	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,94	60	51,18	140	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,00	8,15	60	105,92	260	CUMPLE
8	Cóncava	-7,00	3,047	10,05	60	150,75	260	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,64	60	112,27	280	CUMPLE
10	Cóncava	-5,589	1,718	7,31	60	109,65	180	CUMPLE
11	Cóncava	1,718	6,953	5,24	60	78,60	160	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,49	6,46	60	84,02	250	CUMPLE

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil del subtrayecto T5-3, no se realizara el análisis de longitud mínima de curvas verticales.

Una vez analizado el criterio de longitud mínima de curva del diseño vertical del trayecto 5, se establece que para la velocidad real de diseño 50 km/h se cumple satisfactoriamente, y para la velocidad teórica mínima de diseño 60 km/h se presenta un bajo porcentaje de curvas que no cumplen, como se indica en la siguiente tabla: (Ver tabla 93)

Tabla 93. Curvas verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas	Chequeo para Vd Real de Diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd Teórica Mínima de Diseño = 60 Km/h	
			Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple	Numero de Curvas no Cumple	Porcentaje de Curvas no Cumple
T5-1	Izquierda	17	0	0,00	1	5,88
T5-2	Izquierda	12	0	0,00	0	0,00

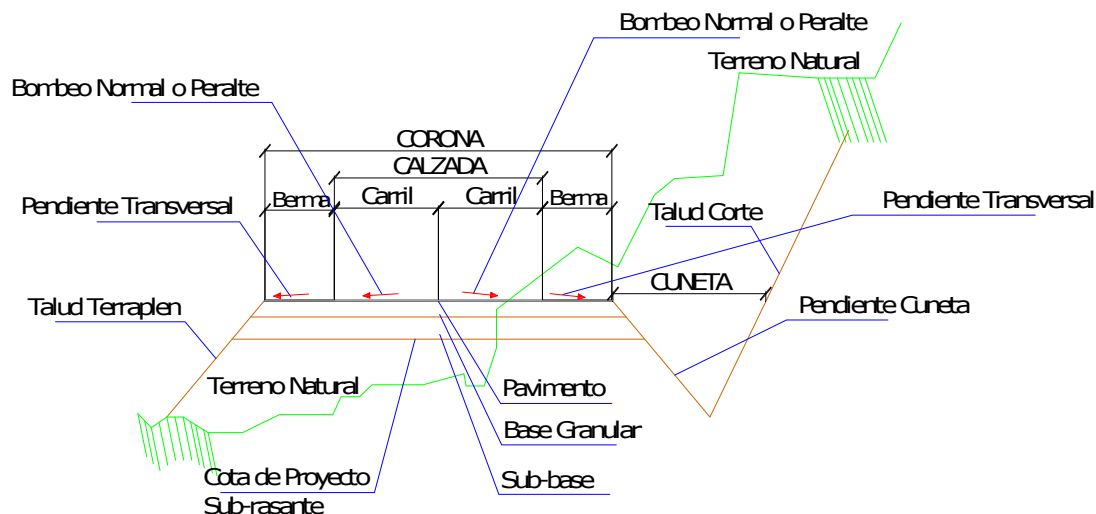
3.2.4 Sección transversal. "La sección transversal de una carretera en un punto de ésta es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento, otros, de tal manera que la sección típica adoptada influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición de zonas, en la construcción, mejoramiento, rehabilitación, mantenimiento y en la seguridad de la circulación."⁵⁸

3.2.4.1 Elementos. Los elementos que integran y definen la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, corona, calzada, bermas, carriles, cunetas, taludes y elementos complementarios, tal como se ilustra en la figura 2. En este caso el análisis de dichos elementos en el diseño transversal se limitara a: ancho de zona, corona, calzada, bermas y carriles, debido a la información base con la que se cuenta.

⁵⁸ Ibíd., p.124

Figura 2. Sección Transversal Típica⁵⁹



a. Ancho de zona o derecho de vía

"Es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones de la vía si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico.

Los anchos de zona mínimos serán los recomendados en la Tabla 94.

Tabla 94. Anchos de zona mínimos⁶⁰

Tipo de Carretera	Ancho de Zona Mínimo (m)
Carretera Principal de Dos Calzadas	Mayor a 30
Carretera Principal de Una Calzada	24-30
Carretera Secundaria	20-24
Carretera Terciaria	15-20

En este caso en particular, el proyecto en estudio consiste en una carretera principal de una calzada, por lo tanto, el ancho de zona mínimo debe estar entre 24 y 30 m; para ello se tomará medida de ancho de zona sobre planos en puntos

⁵⁹ Ibid., p 124

⁶⁰ Ibid.

aleatorios cuyo número sea representativo del tramo en estudio (de acuerdo a su longitud), verificando así el cumplimiento de este parámetro. (Ver tablas 95 -97)

Tabla 95. Ancho de zona sección transversal T5-1.

Abscisa	Ancho de Zona Teórico Mínimo (m)	Ancho de Zona Diseño (m)	Chequeo
K0 + 300	24-30	84,46	CUMPLE
K0 + 700	24-30	52,31	CUMPLE
K1 + 000	24-30	52,41	CUMPLE
K1 + 760	24-30	52,19	CUMPLE
K1 + 980	24-30	53,45	CUMPLE
K2 + 370	24-30	53,53	CUMPLE
K2 + 700	24-30	57,19	CUMPLE
K3 + 010	24-30	55,10	CUMPLE
K3 + 380	24-30	91,36	CUMPLE
K3 + 700	24-30	59,86	CUMPLE
K4 + 100	24-30	55,13	CUMPLE
K4 + 500	24-30	52,10	CUMPLE
K5 + 240	24-30	55,21	CUMPLE
K5 + 790	24-30	52,40	CUMPLE
K6 + 420	24-30	52,31	CUMPLE
K6 + 610	24-30	56,18	CUMPLE
K7 + 080	24-30	55,17	CUMPLE
K7 + 330	24-30	58,12	CUMPLE
K8 + 220	24-30	59,42	CUMPLE
K9 + 400	24-30	54,16	CUMPLE
K10 + 020	24-30	70,40	CUMPLE
K10 + 530	24-30	52,37	CUMPLE
K10 + 790	24-30	53,50	CUMPLE

Tabla 96. Ancho de zona sección transversal T5-2.

Abscisa	Ancho de Zona Teórico Mínimo (m)	Ancho de Zona Diseño (m)	Chequeo
k10+900	24-30	53,30	CUMPLE
k11+300	24-30	53,26	CUMPLE
k11+600	24-30	53,16	CUMPLE
k11+820	24-30	53,27	CUMPLE
k12+400	24-30	53,28	CUMPLE
k12+680	24-30	53,29	CUMPLE
k12+860	24-30	53,17	CUMPLE
K13+280	24-30	87,20	CUMPLE
k13+600	24-30	84,76	CUMPLE
k13+920	24-30	53,29	CUMPLE
K14+360	24-30	53,09	CUMPLE
k14+700	24-30	53,15	CUMPLE
K15+000	24-30	53,13	CUMPLE
k15+420	24-30	61,71	CUMPLE
k15+700	24-30	53,07	CUMPLE
K16+240	24-30	54,49	CUMPLE
k16+500	24-30	67,22	CUMPLE
k16+900	24-30	262,76	CUMPLE
K17+300	24-30	56,21	CUMPLE
k17+700	24-30	52,81	CUMPLE
k17+980	24-30	52,89	CUMPLE
k18+200	24-30	48,30	CUMPLE
k18+400	24-30	39,81	CUMPLE

Tabla 97. Ancho de zona sección transversal T5-3.

Abscisa	Ancho de Zona Teórico Mínimo (m)	Ancho de zona Diseño (m)	Chequeo
k0+100	24-30	55,21	CUMPLE
k0+400	24-31	142,27	CUMPLE
k0+700	24-32	215,72	CUMPLE
k1+000	24-33	60,34	CUMPLE
k1+300	24-34	52,99	CUMPLE
k1+600	24-35	54,51	CUMPLE
k1+900	24-36	52,82	CUMPLE

El diseño geométrico del trayecto 5 cumple satisfactoriamente con el criterio de ancho de zona mínimo, obteniéndose un porcentaje de cumplimiento del 100% para todo el proyecto en estudio, tal como se muestra en la siguiente tabla 98:

Tabla 98. Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de zona.

Trayecto	Calzada	Total de Abscisas Analizadas	Numero de Abscisas no Cumple	Porcentaje de Abscisas no Cumple
T5-1	Izquierda	23	0	0,00
T5-2	Izquierda	23	0	0,00
T5-3	Izquierda	7	0	0,00

b. Corona:

"La corona es la superficie de la carretera terminada que queda comprendida entre los bordes de las bermas de la carretera, o sea las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son: rasante, pendiente transversal, calzada y bermas."⁶¹

- Rasante

"La rasante es la línea que resulta de establecer las cotas del eje de referencia de la geometría de la carretera a lo largo de su desarrollo. En la sección transversal está representada por un punto que debe coincidir con la referencia para el giro de peralte."⁶²

- Pendiente transversal

"Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante de plataforma normal a su eje. Según su relación con elementos del alineamiento horizontal se pueden presentar tres casos:

- **Bombeo.** El bombeo o pendiente transversal normal es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre la carretera y reducir, de esta manera, el fenómeno de hidropneumático. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad e inseguridad. En función del tipo de superficie de rodadura en la Tabla 99, se suministran valores guía para emplearse en el proyecto. (Ver tabla 99)

⁶¹ Ibíd., p.125

⁶² Ibíd., p 125

Tabla 99. Bombeo de la calzada⁶³

Tipo de Superficie de Rodadura		Bombeo (%)
Muy Buena	Superficie en concreto hidráulico o asfáltico, colocada con extendedoras mecánicas.	2
Buena	Superficie de mezcla asfáltica colocada con terminadora. Carpeta de riegos.	2-3
Regular a Mala	Superficie de tierra o grava.	2-4

En este caso, el análisis comparativo no toma en cuenta el estudio del pavimento y este engloba el tipo de superficie de rodadura, pero basándose de manera general en los datos de la tabla presentada anteriormente, se puede decir que es adecuado tomar un valor mínimo de bombeo igual al 2% (valor muy frecuente en proyectos de diseño geométrico) respaldados por la tabla expuesta en el Manual; ya que de acuerdo a la categoría de la vía el tipo de rodadura asociado a ella, se ubicará como buena o muy buena. Además de lo anteriormente expuesto, el análisis no se efectuará debido a que no se cuenta con la información en cuanto a pavimentos se refiere del proyecto en estudio.

Por lo cual tomando un bombeo del 2%, y comparando con los diagramas de transición de peralte observamos que en tramos tangentes para todo el diseño del trayecto 5 (T5-1, T5-2 y T5-3) cumplen satisfactoriamente con este valor.

- **"Peralte.** El peralte es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal."⁶⁴

- **"Transición del bombeo al peralte.** En el alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta el peralte correspondiente a la curva; este cambio se hace gradualmente a lo largo de la longitud de la espiral de transición."⁶⁵

- Calzada

"La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de vehículos y constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

⁶³ Ibid., p 126

⁶⁴ Ibid.

⁶⁵ Ibid., p 126

El ancho de la calzada es variable a lo largo de la carretera y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical.

Normalmente el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal. En la Tabla 100, se suministran los anchos de calzada recomendados en función del tipo de carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño."⁶⁶ (Ver tabla 100)

Tabla 100. Ancho recomendado para calzada.⁶⁷

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Primaria de Dos Calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
Primaria de Una Calzada	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.30	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	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Ondulado	-	7.00	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Montañoso	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	5.00	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-

Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un mayor ancho que cuando circula sobre una tangente y el conductor experimente cierta dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que se hace necesario proporcionar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente. A esta ampliación se le llama sobreancho, el cual debe darse tanto a la calzada como a la corona. En cuanto al ancho de calzada en tramos tangentes, se determina a partir de la tabla 100 con base en el tipo de carretera, velocidad de diseño y tipo de terreno; en este caso se observa que para una carretera principal de una calzada independientemente del tipo de terreno, no se estipula ningún ancho para la velocidad de diseño de 50 km/h; porque las condiciones de diseño iniciales permiten determinar que la velocidad mínima teórica de diseño debería ser 60 km/h. Por lo cual el presente análisis se limitara a evaluar el ancho de calzada para una velocidad de 60 km/h, que

⁶⁶ Ibid., p 127

⁶⁷ Ibid., p 127

independientemente del tipo de terreno y con el tipo de carretera se encuentra en 7.3 metros. (Ver tabla 101)

Tabla 101. Ancho de calzada teórico trayecto 5.

Trayecto	Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad Teórica Mínima De Diseño (Km/h)	Ancho de Calzada (m)
T5-1	Carretera Principal de Una Calzada	Ondulado	60	7,3
T5-2	Carretera Principal de Una Calzada	Ondulado	60	7,3
T5-3	Carretera Principal de Una Calzada	Montañoso	60	7,3

Para la verificación de este parámetro se efectuarán medidas de ancho de calzada en puntos aleatorios en tramos tangentes sobre planos y estas se compararán con la obtenida teóricamente.

Tabla 102. Ancho de calzada entretangencias T5-1.

Abscisa	Ancho de Calzada Teórica (m)	Ancho de Calzada Diseño (m)	Chequeo
K0 + 300	7,3	7,3	CUMPLE
K0 + 700	7,3	7,3	CUMPLE
K1 + 000	7,3	7,3	CUMPLE
K1 + 760	7,3	7,3	CUMPLE
K1 + 980	7,3	7,3	CUMPLE
K2 + 370	7,3	7,3	CUMPLE
K2 + 700	7,3	7,3	CUMPLE
K3 + 010	7,3	7,3	CUMPLE
K3 + 380	7,3	7,3	CUMPLE
K3 + 700	7,3	7,3	CUMPLE
K4 + 100	7,3	7,3	CUMPLE
K4 + 500	7,3	7,3	CUMPLE
K5 + 240	7,3	7,3	CUMPLE
K5 + 790	7,3	7,3	CUMPLE
K6 + 420	7,3	7,3	CUMPLE
K6 + 610	7,3	7,3	CUMPLE
K7 + 080	7,3	7,3	CUMPLE
K7 + 330	7,3	7,3	CUMPLE
K8 + 220	7,3	7,3	CUMPLE
K9 + 400	7,3	7,3	CUMPLE
K10 + 020	7,3	7,3	CUMPLE
K10 + 530	7,3	7,3	CUMPLE
K10 + 790	7,3	7,3	CUMPLE

Tabla 103. Ancho de calzada entretangencias T5-2.

Abscisa	Ancho de Calzada Teórica (m)	Ancho de Calzada Diseño (m)	Chequeo
k10+900	7,3	7,3	CUMPLE
k11+300	7,3	7,3	CUMPLE
k11+600	7,3	7,3	CUMPLE
k11+820	7,3	7,3	CUMPLE
k12+400	7,3	7,3	CUMPLE
k12+680	7,3	7,3	CUMPLE
k12+860	7,3	7,3	CUMPLE
K13+280	7,3	7,3	CUMPLE
k13+600	7,3	7,3	CUMPLE
k13+920	7,3	7,3	CUMPLE
K14+360	7,3	7,3	CUMPLE
k14+700	7,3	7,3	CUMPLE
K15+000	7,3	7,3	CUMPLE
k15+420	7,3	7,3	CUMPLE
k15+700	7,3	7,3	CUMPLE
K16+240	7,3	7,3	CUMPLE
k16+500	7,3	7,3	CUMPLE
k16+900	7,3	7,3	CUMPLE
K17+300	7,3	7,3	CUMPLE
k17+700	7,3	7,3	CUMPLE
k17+980	7,3	7,3	CUMPLE
k18+200	7,3	7,3	CUMPLE
k18+400	7,3	7,3	CUMPLE

Tabla 104. Ancho de calzada entretangencias T5-3.

Abscisa	Ancho de Calzada Teórica (m)	Ancho de Calzada Diseño (m)	Chequeo
k0+100	7,3	7,3	CUMPLE
k0+400	7,3	7,3	CUMPLE
k0+700	7,3	7,3	CUMPLE
k1+000	7,3	7,3	CUMPLE
k1+300	7,3	7,3	CUMPLE
k1+600	7,3	7,3	CUMPLE
k1+900	7,3	7,3	CUMPLE

Tomando como referencia la velocidad teórica mínima de diseño de 60 km/h, el diseño geométrico del trayecto 5 cumple satisfactoriamente con el criterio de ancho de calzada, presentándose valores iguales de este parámetro tanto en los planos de diseño como en el establecido por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INVIAS año 1998. Se presenta así un porcentaje de cumplimiento del 100% para todo el trayecto en estudio. (Ver tabla 105)

Tabla 105. Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de calzada.

Trayecto	Calzada	Total de Abscisas Analizadas	Numero de Abscisas no Cumple	Porcentaje de Abscisas no Cumple
T5-1	Izquierda	23	0	0,00
T5-2	Izquierda	23	0	0,00
T5-3	Izquierda	7	0	0,00

- **Bermas**

"Las bermas son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros de la carretera. Tienen como ventajas principales las siguientes:

- ✓ Dar seguridad al usuario de la carretera al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede eludir accidentes potenciales, o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellas en caso obligado. Por todo ello se hace obligatorio disponer la superficie de la berma al mismo nivel que la superficie de rodadura de la calzada.
- ✓ Proteger contra humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
- ✓ Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, alojados en corte.
- ✓ Facilitar los trabajos de conservación.
- ✓ Proporcionar mejor apariencia a la carretera.
- ✓ Separar los obstáculos del borde de la calzada.

El ancho de las bermas depende principalmente del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que la carretera vaya a funcionar. (Ver tabla 106)

Tabla 106. Ancho recomendado para bermas.⁶⁸

Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de Dos Calzadas ¹	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	2,5/1,0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0
	Escarapado	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/1,0	1,8/1,0	-
Carretera Principal de Una Calzada	Plano	-	-	-	-	1,80	2,00	2,00	2,50	-	-
	Ondulado	-	-	-	1,80	1,80	2,00	2,00	2,50	-	-
	Montañoso	-	-	-	1,50	1,50	1,80	1,80	-	-	-
	Escarapado	-	-	-	1,50	1,50	1,80	1,80	-	-	-
Carretera Secundaria	Plano	-	-	1,00	1,50	1,50	1,80	-	-	-	-
	Ondulado	-	0,50	1,00	1,00	1,50	1,80	-	-	-	-
	Montañoso	-	0,50	0,50	1,00	1,00	-	-	-	-	-
	Escarapado	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria ²	Plano	-	0,50	0,50	1,00	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	0,50	0,50	0,50	1,00	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0,50	0,50	0,50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	0,50	0,50	0,50	-	-	-	-	-	-	-

¹ Berma Derecha/Berma Izquierda

² Indicativa para calzadas pavimentadas

La Tabla 107 presenta el ancho de berma recomendado en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño.

Para determinar el ancho de berma empleamos la tabla 106 con base en el tipo de carretera, velocidad de diseño y tipo de terreno; en este caso se observa que para una carretera principal de una calzada independientemente del tipo de terreno, no se estipula ningún ancho para la velocidad de diseño de 50 km/h. Por lo cual el presente análisis se limitara a evaluar el ancho de berma para una velocidad de 60 km/h, valor correspondiente a la velocidad teórica mínima de diseño, para el tipo de carretera anteriormente definido y para los tipos de terreno siguientes tenemos:

⁶⁸ Ibíd., p. 128

Tabla 107. Ancho de berma teórico trayecto 5.

Trayecto	Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad Teórica Mínima de Diseño (Km/h)	Ancho de Berma (m)	
				Berma Izquierda	Berma Derecha
T5-1	Carretera Principal de Una Calzada	Ondulado	60	1,8	1,8
T5-2	Carretera Principal de Una Calzada	Ondulado	60	1,8	1,8
T5-3	Carretera Principal de Una Calzada	Montañoso	60	1,5	1,5

Para la verificación de este parámetro se efectuaran medidas aleatoriamente sobre planos y estas se compararan con el ancho de berma obtenido teóricamente. (Ver tablas 108-110)

Tabla 108. Ancho de berma sección transversal T5-1.

Abscisa	Ancho de Berma Teórico (m)		Ancho de berma Diseño (m)		Chequeo	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Berma Izquierda	Berma Derecha
K0 + 300	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K0 + 700	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K1 + 000	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K1 + 760	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K1 + 980	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K2 + 370	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K2 + 700	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K3 + 010	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K3 + 380	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K3 + 700	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K4 + 100	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K4 + 500	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K5 + 240	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K5 + 790	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K6 + 420	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K6 + 610	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K7 + 080	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K7 + 330	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K8 + 220	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K9 + 400	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K10 + 020	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K10 + 530	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K10 + 790	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 109. Ancho de berma sección transversal T5-2.

Abscisa	Ancho de Berma Teórico (m)		Ancho de Berma Diseño (m)		Chequeo	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Berma Izquierda	Berma Derecha
k10 + 900	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k11 + 300	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k11 + 600	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k11 + 820	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k12 + 400	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k12 + 680	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k12 + 860	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K13 + 280	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k13 + 600	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k13 + 920	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K14 + 360	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k14 + 700	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K15 + 000	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k15 + 420	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k15 + 700	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
K16 + 240	1,8	1,8	1,8	1,8	CUMPLE	CUMPLE
k16 + 500	1,8	1,8	0,3	1,8	NO CUMPLE	CUMPLE
k17 + 080	1,8	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K17 + 300	1,8	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k17 + 700	1,8	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k17 + 980	1,8	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k18 + 280	1,8	1,8	1,2	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k18 + 400	1,8	1,8	1,2	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 110. Ancho de berma sección transversal T5-2.

Abscisa	Ancho de Berma Teórico (m)		Ancho de Berma Diseño (m)		Chequeo	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Berma Izquierda	Berma Derecha
k0 + 100	1,5	1,5	1,8	1,2	CUMPLE	NO CUMPLE
k0 + 400	1,5	1,5	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k0 + 700	1,5	1,5	3,6	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k1 + 000	1,5	1,5	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k1 + 300	1,5	1,5	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k1 + 600	1,5	1,5	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
k1 + 900	1,5	1,5	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tomando como referencia la velocidad teórica mínima de diseño de 60 Km/h, el diseño geométrico del trayecto 5 presenta un cumplimiento del 100% en el subtrayecto T5-1, un porcentaje considerable en el subtrayecto T5-2 y no cumple en su totalidad con el criterio de ancho de berma en el subtrayecto T5-3 como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 111. Sección transversal trayecto 5 no cumplen ancho de berma.

Trayecto	Calzada	Total de Abscisas Analizadas	Numero de Abscisas no Cumple	Porcentaje de Abscisas no Cumple
T5-1	Izquierda	23	0	0,00
T5-2	Izquierda	23	7	30,43
T5-3	Derecha	7	7	100,00

3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008

3.3.1 Controles para el diseño geométrico:

3.3.1.1 Velocidad de diseño. “En el proceso de asignación de la velocidad de diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado 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 diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de 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 (V_{TR}), 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 (V_{TR}) se debe atender a los siguientes criterios:

- La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño dada debe ser de tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento diez kilómetros por hora (60 y 110 km/h).
- La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede 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 del corredor de 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 puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).⁶⁹

⁶⁹ Ibíd., p 37

El Diseño Geométrico del “**TRAYECTO 5 (T5-1, T5-2 y T5-3) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO**”, consta de 3 subtrayectos (para efectos de análisis y diseño, los trayectos equivalen a tramos homogéneos). Cabe aclarar que en el subtrayecto T5-3 no se cuenta con información de diseño vertical, por lo cual los parámetros que impliquen este diseño no se analizarán.

3.3.2.2 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). “La velocidad de diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una velocidad de diseño (V_{TR}) en el rango que se indica en la Tabla 112.”⁷⁰

“Tabla 112. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno”⁷¹

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño de un Tramo Homogeneo V_{TR} (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de Dos Calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de Una Calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Tomando como base la categoría de la carretera y el tipo de terreno previamente definido en el estudio efectuado mediante el manual del año 1998, se tienen las siguientes V_{TR} para cada trayecto en particular: (Ver tabla 113)

⁷⁰ Ibid., p 37

⁷¹ Ibid., p 38

Tabla 113. Asignación de velocidad por tramos homogéneos (Trayecto 5)

Trayecto	Calzada	Tipo de Terreno	Categoría de la Vía	VTR (Km/h)
T5-1	Izquierda	Ondulado	Principal de Una Calzada	70
T5-2	Izquierda	Ondulado		70
T5-3	Derecha	Montañoso		60

De acuerdo al diseño presentado por DEVINAR S.A., la velocidad real de diseño es de 50 km/h (En este caso correspondiente al V_{TR} real de diseño) para todos los subtrayectos que conforman el trayecto 5, lo cual permite determinar una gran diferencia de esta con respecto a las velocidades teóricas mínimas de tramos homogéneos (V_{TR} teórica mínima de diseño) que deberían haberse empleado para las condiciones de categoría de vía y tipo de terreno. Por lo tanto en adelante, el análisis de cada parámetro se efectuara para la V_{TR} Real de diseño presentada por DEVINAR S.A. para el proyecto, en este caso correspondiente a un $V_{TR} = 50$ km/h, y para la V_{TR} teórica mínima de diseño, correspondiente al valor del V_{TR} determinada para cada subtrayecto, la cual se encuentra consignada en la Tabla 114.

A continuación, se describe la longitud de cada trayecto, abscisas de inicio y fin y observaciones respecto al parámetro longitud con base en las indicaciones efectuadas por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008.

Tabla 114. Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} real de diseño

Trayecto	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud (m)	VTR (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
T5-1	Izquierda	PR0+000	PR10+760	10760	70	3000	CUMPLE
T5-2	Izquierda	PR10+760	PR18+400	7640	70	3000	CUMPLE
T5-3	Derecha	PR16+255	PR18+166	1911	60	3000	NO CUMPLE

Tabla 115. Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} teórica mínima de diseño

Trayecto	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud (m)	VTR (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
T5-1	Izquierda	PR0+000	PR10+760	10760	70	4000	CUMPLE
T5-2	Izquierda	PR10+760	PR18+400	7640	70	4000	CUMPLE
T5-3	Derecha	PR16+255	PR18+166	1911	60	4000	NO CUMPLE

Respecto al parámetro longitud mínima de tramo homogéneo tenemos: Para la V_{TR} real de diseño, el T5-3 es el único que no cumple con esta condición, determinándose de manera general que las longitudes presentadas para mantener una velocidad constante de 50 km/h son adecuadas. Para la V_{TR} teórica mínima de diseño, este parámetro presenta inconformidad respecto a lo expuesto en el manual del INVIAS también en el trayecto T5-3.

Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil: “La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su velocidad específica y es con la que se debe diseñar ese elemento. El valor de la velocidad específica de un elemento geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

- Del valor de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}) en que se encuentra incluido el elemento. La condición deseable es que a la mayoría de los elementos geométricos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como velocidad específica el valor de la velocidad de diseño (V_{TR}).
- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido.

Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la velocidad específica de curvas y entretangencias, lo que necesariamente se traduce en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las velocidades específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora ($V_{TR} + 20$ km/h).⁷²

“La secuencia general para la asignación de la velocidad específica de los elementos geométricos en planta y perfil es la siguiente:

A. En el proceso de diseño del eje en planta:

- Partiendo de la velocidad de diseño del tramo homogéneo adoptada (V_{TR}), asignar la Velocidad Específica a cada una de las curvas horizontales (V_{CH}).
- Partiendo de la velocidad específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}), asignar la velocidad específica a las entretangencias horizontales (V_{ETH}).

B. En el proceso de diseño del eje en perfil:

- Partiendo de la velocidad específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}) y a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la velocidad específica a las curvas verticales (V_{CV}).
- Partiendo de la velocidad específica asignada a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la velocidad específica a las tangentes verticales (V_{TV}).⁷³

⁷² Ibíd., p 39

⁷³ Ibíd., p 39 – 40

Velocidad específica de la curva horizontal (V_{CH}): “La velocidad específica de cada una de las curvas horizontales se debe establecer atendiendo a los siguientes criterios:

- La velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo ($V_{CH} \geq V_{TR}$) ni superior a ésta en veinte kilómetros por hora ($V_{CH} \leq V_{TR} + 20$).
- La velocidad específica de una curva horizontal debe ser asignada teniendo en cuenta la velocidad específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento recto anterior.”⁷⁴

Se ha establecido que los conductores, en función de la velocidad a la que recorren una curva horizontal y la longitud del segmento recto que encuentran al salir de dicha curva, adoptan el patrón de comportamiento que se tipifica en cinco casos. Tales casos se ilustran para la situación de velocidades de diseño relativamente altas (V_{TR} entre 60 y 110 Km/h) y se consignan en la Tabla 116.

Cuando la Velocidad de Diseño del tramo (V_{TR}) es relativamente baja (entre 30 y 50 Km/h) la longitud del Segmento Recto, en función de la cual los conductores toman la decisión para ajustar su velocidad, es menor, tal como se puede observar en la Tabla 116.

“Tabla 116. Velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño (V_{TR})”⁷⁵

Velocidad Específica de la Curva Horizontal	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) $\leq$ 50 Km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) $>$ 50 Km/h				
	Longitud del Segmento Recto Anterior (m)					Longitud del Segmento Recto Anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
		$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$				$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$		
VTR	VTR	VTR	VTR	VTR+10	VTR+20	VTR	VTR	VTR	VTR+10	VTR+20
VTR+10	VTR+10	VTR+10	VTR	VTR+10	VTR+20	VTR+10	VTR+10	VTR	VTR+10	VTR+20
VTR+20	VTR+20	VTR+20	VTR+10	VTR+10	VTR+20	VTR+20	VTR+20	VTR+10	VTR+10	VTR+20
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

- “La diferencia entre las velocidades específicas de la última curva horizontal de un tramo y la primera del siguiente se indican en la Tabla 117. Tales diferencias están en función de la velocidad de diseño de los tramos contiguos y de la longitud del segmento recto entre dichas curvas. Además, son

⁷⁴ Ibid., p 40

⁷⁵ Ibid., p 43

concordantes con los criterios establecidos para la asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales dentro de un mismo tramo.”⁷⁶

“Tabla 117. Diferencia entre la velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en km/h”⁷⁷

Velocidad de Diseño de los Tramos Contiguos (Km/h)		Longitud del Segmento Recto Anterior (m)(1)					Longitud del Segmento Recto Anterior (m)				
		L ≤ 70	70 < L ≤ 250		250 < L ≤ 400	L > 400	L ≤ 150	150 < L ≤ 400		400 < L ≤ 600	L > 600
			Δ < 45°	Δ ≥ 45°				Δ < 45°	Δ ≥ 45°		
20	30	0	0	0	10	20	N.A (2)	N.A	N.A	N.A	N.A
20	40	0	0	0	10	20	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
30	20	0	0	-10	10	NOTA (3)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
30	40	0	0	0	10	20	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
30	50	0	0	0	10	20	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
40	20	0	0	-10	NOTA (5)	NOTA (3)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
40	30	0	0	-10	10	NOTA (3)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
40	50	0	0	0	10	20	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
40	60	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
50	30	0	0	-10	NOTA (5)	NOTA (3)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
50	40	0	0	-10	10	NOTA (3)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
50	60	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
50	70	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
60	40	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
60	50	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)
60	70	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
60	80	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
70	50	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
70	60	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)
70	80	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
70	90	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
80	60	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
80	70	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)
80	90	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
80	100	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
90	70	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
90	80	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)
90	100	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
90	110	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
100	80	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
100	90	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)
100	110	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	0	10	20
110	90	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	NOTA (6)	NOTA (4)
110	100	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	0	0	-10	10	NOTA (4)

NOTA

- (1) Longitud del Segmento Recto entre la última Curva Horizontal del Tramo Anterior y la Primera Curva Horizontal del Tramo Analizado
- (2) No Aplica
- (3) Si la Longitud del Segmento Recto Anterior es mayor de Cuatrocientos metros (400m) es necesario revisar las Velocidades Asignadas a los Tramos Homogeneos (VTR)
- (4) Si la Longitud del Segmento Recto Anterior es mayor de Seiscientos metros (600m) es necesario revisar las Velocidades Asignadas a los Tramos Homogeneos (VTR)
- (5) Si la Longitud del Segmento Recto Anterior se encuentra entre Doscientos Cincuenta y Cuatrocientos metros (250m - 400m) es necesario revisar las Velocidades Asignadas a los Tramos Homogeneos (VTR)
- (6) Si la Longitud del Segmento Recto Anterior se encuentra entre Cuatrocientos y Seiscientos metros (400m - 600m) es necesario revisar las Velocidades Asignadas a los Tramos Homogeneos (VTR)

⁷⁶ Ibid., p 42

⁷⁷ Ibid.

La asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales (V_{CH}) se debe realizar simulando primero el desplazamiento de un vehículo en un sentido de circulación y luego en el otro. La velocidad específica que se le asigne como definitiva a una curva debe ser la mayor que resulte de la simulación en ambos sentidos. En este caso en particular, el diseño corresponde a una doble calzada con dos carriles en cada dirección de flujo vehicular, por lo tanto el análisis se efectúa en un solo sentido correspondiente al de circulación, a continuación se realiza el proceso de asignación de V_{CH} para un trayecto en particular. (Ver tablas 118 -131)

Tabla 118. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 desde K0 + 000 hasta K10 + 600.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K0 + 000 Hasta K10 + 600
1	108°37'42" I	26,68	50
2	19°9'58" I	199,60	50
3	17°34'56" I	300,00	50
4	20°18'27" D	331,54	50
5	46°13'27" D	476,48	60
6	69°3'8" I	601,65	70
7	9°9'11" D	598,36	60
8	26°24'54" D	335,67	60
9	6°7'37" I	228,20	60
10	51°0'24" I	635,22	70
11	28°51'17" I	190,91	70
12	30°1'55" D	59,21	70
13	26°17'31" I	89,38	70
14	35°2'15" I	487,23	60
15	61°35'10" D	111,11	60
16	26°5'21" I	208,05	60
17	76°0'19" D	175,46	50
18	64°25'3" I	68,30	50
19	76°18'22" D	94,80	50
20	108°24'7" I	291,48	50
21	20°43'23" I	197,94	50
22	23°21'50" D	98,79	50
23	37°31'52" D	218,16	50
24	29°17'18" D	56,41	50

Tabla 119. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 desde K10 + 600 hasta K0 + 000.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K10 + 600 Hasta K0 + 000
24	29°17'18" D	427,40	60
23	37°31'52" D	56,41	50
22	23°21'50" D	218,16	50
21	20°43'23" I	98,79	50
20	108°24'7" I	197,94	50
19	76°18'22" D	291,48	50
18	64°25'3" I	94,80	60
17	76°0'19" D	68,30	60
16	26°5'21" I	175,46	60
15	61°35'10" D	208,05	60
14	35°2'15" I	111,11	70
13	26°17'31" I	487,23	70
12	30°1'55" D	89,38	60
11	28°51'17" I	59,21	60
10	51°0'24" I	190,91	60
9	6°7'37" I	635,22	70
8	26°24'54" D	228,20	60
7	9°9'11" D	335,67	60
6	69°3'8" I	598,36	60
5	46°13'27" D	601,65	70
4	20°18'27" D	476,48	60
3	17°34'56" I	331,54	50
2	19°9'58" I	300,00	50
1	108°37'42" I	199,60	50

Tabla 120. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-1 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	50
2	50
3	50
4	60
5	70
6	70
7	60
8	60
9	70
10	70
11	70
12	70
13	70
14	70
15	60
16	60
17	60
18	60
19	50
20	50
21	50
22	50
23	50
24	60

Tabla 121. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 desde K0 + 000 hasta K10 + 600

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K0 + 000 Hasta K10 + 600
1	108°37'42" I	26,68	70
2	19°9'58" I	199,60	70
3	17°34'56" I	300,00	70
4	20°18'27" D	331,54	70
5	46°13'27" D	476,48	80
6	69°3'8" I	601,65	90
7	9°9'11" D	598,36	80
8	26°24'54" D	335,67	70
9	6°7'37" I	228,20	70
10	51°0'24" I	635,22	90
11	28°51'17" I	190,91	70
12	30°1'55" D	59,21	70
13	26°17'31" I	89,38	70
14	35°2'15" I	487,23	80
15	61°35'10" D	111,11	70
16	26°5'21" I	208,05	70
17	76°0'19" D	175,46	70
18	64°25'3" I	68,30	70
19	76°18'22" D	94,80	70
20	108°24'7" I	291,48	70
21	20°43'23" I	197,94	70
22	23°21'50" D	98,79	70
23	37°31'52" D	218,16	70
24	29°17'18" D	56,41	70

Tabla 122. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 desde K10 + 600 hasta K0 + 000.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K10 + 600 Hasta K0 + 000
24	29°17'18" D	427,40	80
23	37°31'52" D	56,41	70
22	23°21'50" D	218,16	70
21	20°43'23" I	98,79	70
20	108°24'7" I	197,94	70
19	76°18'22" D	291,48	70
18	64°25'3" I	94,80	70
17	76°0'19" D	68,30	70
16	26°5'21" I	175,46	70
15	61°35'10" D	208,05	70
14	35°2'15" I	111,11	70
13	26°17'31" I	487,23	80
12	30°1'55" D	89,38	70
11	28°51'17" I	59,21	70
10	51°0'24" I	190,91	70
9	6°7'37" I	635,22	90
8	26°24'54" D	228,20	70
7	9°9'11" D	335,67	70
6	69°3'8" I	598,36	80
5	46°13'27" D	601,65	90
4	20°18'27" D	476,48	80
3	17°34'56" I	331,54	70
2	19°9'58" I	300,00	70
1	108°37'42" I	199,60	70

Tabla 123. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	70
2	70
3	70
4	80
5	90
6	90
7	80
8	70
9	90
10	90
11	70
12	70
13	80
14	80
15	70
16	70
17	70
18	70
19	70
20	70
21	70
22	70
23	70
24	80

Tabla 124. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 desde K10 + 600 hasta K18 + 400.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K10 + 600 Hasta K18 + 400
1	49°48'43" D	427,40	60
2	25°15'34" I	563,92	60
3	42°58'56" I	488,79	60
4	18°51'32" I	480,48	60
5	40°11'55" I	479,42	60
6	30°27'23" D	282,99	60
7	66°15'9" I	416,70	60
8	43°53'19" D	89,99	60
9	53°0'47" I	130,41	60
10	116°20'30" D	84,77	60
11	25°45'20" I	131,31	60
12	53°10'56" D	78,89	60
13	23°2'35" I	84,68	60
14	21°5'27" D	161,51	60
15	14°48'55" I	163,34	60
16	17°10'7" I	340,92	60
17	41°42'5" D	219,58	60
18	16°53'33" I	532,31	60
19	23°44'31" I	323,30	60

Tabla 125. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 desde K18 + 400 hasta K10 + 600.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K18 + 400 Hasta K10 + 600
19	23°44'31" I	174,48	60
18	16°53'33" I	323,30	60
17	41°42'5" D	532,31	60
16	17°10'7" I	219,58	60
15	14°48'55" I	340,92	60
14	21°5'27" D	163,34	60
13	23°2'35" I	161,51	60
12	53°10'56" D	84,68	60
11	25°45'20" I	78,89	60
10	116°20'30" D	131,31	60
9	53°0'47" I	84,77	60
8	43°53'19" D	130,41	60
7	66°15'9" I	89,99	60
6	30°27'23" D	416,70	60
5	40°11'55" I	282,99	60
4	18°51'32" I	479,42	60
3	42°58'56" I	480,48	60
2	25°15'34" I	488,79	60
1	49°48'43" D	563,92	60

Tabla 126. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-2 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60
6	60
7	60
8	60
9	60
10	60
11	60
12	60
13	60
14	60
15	60
16	60
17	60
18	60
19	60

Tabla 127. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2 desde K10 + 600 hasta K18 + 400.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K10 + 600 Hasta K18 + 400
1	49°48'43" D	427,40	80
2	25°15'34" I	563,92	80
3	42°58'56" I	488,79	80
4	18°51'32" I	480,48	80
5	40°11'55" I	479,42	80
6	30°27'23" D	282,99	70
7	66°15'9" I	416,70	80
8	43°53'19" D	89,99	70
9	53°0'47" I	130,41	70
10	116°20'30" D	84,77	70
11	25°45'20" I	131,31	70
12	53°10'56" D	78,89	70
13	23°2'35" I	84,68	70
14	21°5'27" D	161,51	70
15	14°48'55" I	163,34	70
16	17°10'7" I	340,92	80
17	41°42'5" D	219,58	70
18	16°53'33" I	532,31	80
19	23°44'31" I	323,30	80

Tabla 128. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2 desde K18 + 400 hasta K10 + 600.

Curva N°	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH
			Desde K18 + 400 Hasta K10 + 600
19	23°44'31" I	174,48	70
18	16°53'33" I	323,30	70
17	41°42'5" D	532,31	80
16	17°10'7" I	219,58	70
15	14°48'55" I	340,92	70
14	21°5'27" D	163,34	70
13	23°2'35" I	161,51	70
12	53°10'56" D	84,68	70
11	25°45'20" I	78,89	70
10	116°20'30" D	131,31	70
9	53°0'47" I	84,77	70
8	43°53'19" D	130,41	70
7	66°15'9" I	89,99	70
6	30°27'23" D	416,70	80
5	40°11'55" I	282,99	70
4	18°51'32" I	479,42	80
3	42°58'56" I	480,48	80
2	25°15'34" I	488,79	80
1	49°48'43" D	563,92	80

Tabla 129. Asignación V_{CH} para V_{TR} Teórica Mínima de diseño T5-2 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	80
2	80
3	80
4	80
5	80
6	80
7	80
8	70
9	70
10	70
11	70
12	70

13	70
14	70
15	70
16	80
17	80
18	70
19	70

Tabla 130. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T5-3 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60

Tabla 131. Asignación V_{CH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3 definitiva.

Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
Curva N°	Definitiva
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60

El análisis anterior no presenta observación alguna debido a que no se cuenta con información de velocidades específicas en cada curva horizontal empleada en el diseño efectuado por DEVINAR S.A.; por lo tanto la asignación de velocidades se hace para tomarlas como base para el estudio y análisis de parámetros posteriores.

Velocidad en la entretangencia horizontal (V_{ETH}): “Para la verificación de la Distancia de visibilidad de adelantamiento (V_a) en una entretangencia horizontal y para la asignación de la Velocidad Específica de una curva vertical (V_{CV}) incluida en dicha entretangencia es necesario establecer la probable velocidad a la que circularían los vehículos por ella.

En carreteras de una calzada, un vehículo puede ingresar a la entretangencia saliendo de la curva horizontal localizada en un extremo, que tiene una determinada Velocidad Específica (V_{CH}), ó saliendo de la curva localizada en el otro extremo, que también tiene su propia Velocidad Específica (V_{CH}). Los vehículos van a circular por la entretangencia a la velocidad a la que salieron de la curva siendo críticos los que entraron a la entretangencia desde la curva horizontal que presenta la Velocidad Específica mayor.

En consecuencia, la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.”⁷⁸

A continuación se presenta el proceso de asignación de velocidades a entretangencias horizontales (V_{ETH}), teniendo en cuenta la categoría de la vía y su sentido de circulación por ella (en un solo sentido), la velocidad específica correspondiente a una entretangencia horizontal será la de la curva horizontal anterior debido a que el conductor hace el ingreso a dicha entretangencia por esta curva constituyéndose la velocidad de esta (curva horizontal) en la de referencia para la asignación de la velocidad en la próxima entretangencia.

⁷⁸ Ibíd., p 46

Tabla 132. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-1.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	50	50
2	50	50
3	50	50
4	60	60
5	70	70
6	70	70
7	60	60
8	60	60
9	70	70
10	70	70
11	70	70
12	70	70
13	70	70
14	70	70
15	60	60
16	60	60
17	60	60
18	60	60
19	50	50
20	50	50
21	50	50
22	50	50
23	50	50
24	60	60

Tabla 133. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	70	70
2	70	70
3	70	70
4	80	80
5	90	90
6	90	90
7	80	80
8	70	70
9	90	90
10	90	90
11	70	70
12	70	70
13	80	80
14	80	80
15	70	70
16	70	70
17	70	70
18	70	70
19	70	70
20	70	70
21	70	70
22	70	70
23	70	70
24	80	80

Tabla 134. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-2.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	60	60
2	60	60
3	60	60
4	60	60
5	60	60
6	60	60
7	60	60
8	60	60
9	60	60
10	60	60
11	60	60
12	60	60
13	60	60
14	60	60
15	60	60
16	60	60
17	60	60
18	60	60
19	60	60

Tabla 135. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	80	80
2	80	80
3	80	80
4	80	80
5	80	80
6	80	80
7	80	80
8	70	70
9	70	70
10	70	70
11	70	70
12	70	70
13	70	70
14	70	70
15	70	70
16	80	80
17	80	80
18	70	70
19	70	70

Tabla 136. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T5-3.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	60	60
2	60	60
3	60	60
4	60	60
5	60	60

Tabla 137. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} Teórica mínima de diseño T5-3.

Entretangencia N°	Velocidad Especifica Curva Horizontal Anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	60	60
2	60	60
3	60	60
4	60	60
5	60	60

El análisis anterior no presenta observación alguna debido a que no se cuenta con información de velocidades específicas en cada entretangencia horizontal empleadas en el diseño, por lo tanto la asignación de velocidades se hace para tomar a estas como base para el estudio y análisis de parámetros posteriores.

Velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}): “La velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}), cóncava ó convexa, es la máxima velocidad a la que puede ser recorrida en condiciones de seguridad. Con ella se debe elegir su longitud y verificar la distancia de visibilidad de parada (D_P).

Si la curva vertical coincide con una curva horizontal que tiene una velocidad específica dada (V_{CH}), la velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la velocidad específica de la curva horizontal.

Si la curva vertical está localizada dentro de una entretangencia horizontal con una velocidad específica dada (V_{ETH}), la velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la velocidad específica de la entretangencia horizontal.”⁷⁹

La asignación de Velocidades específicas a curvas verticales (V_{CV}) se determina con base en su posición respecto al diseño en planta; aquellas curvas que se ubiquen en más de un elemento se toma la mayor velocidad de ellas constituyéndose ésta en la velocidad crítica de diseño (por ser la mayor) a la cual un usuario pueda transitar por este tramo en sección de planta. (Ver tabla 138-145)

Tabla 138. Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	Elemento Crítico-Ubicación		Velocidad Elemento Ubicación (Km/h)	Velocidad Específica Curva Vertical VCV (Km/h)
		Sobre Curva	Sobre Entretangencia		
1	Convexa	X		50	50
2	Concava	X		50	50
3	Convexa	X		50	50
4	Concava		X	60	60
5	Convexa	X		70	70
6	Concava		X	70	70
7	Concava		X	60	60
8	Convexa	X		70	70
9	Concava		X	70	70
10	Concava	X		70	70
11	Convexa		X	70	70
12	Concava	X		60	60
13	Convexa		X	60	60
14	Concava	X		50	50
15	Concava	X		50	50
16	Convexa	X		50	50
17	Concava		X	50	50

⁷⁹ Ibíd., p 47

Tabla 139. Asignación de V_{CV} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	Elemento Crítico-Ubicación		Velocidad Elemento Ubicación (Km/h)	Velocidad Específica Curva Vertical VCV (Km/h)
		Sobre Curva	Sobre Entretangencia		
1	Convexa	X		70	70
2	Concava	X		70	70
3	Convexa	X		70	70
4	Concava		X	80	80
5	Convexa	X		90	90
6	Concava		X	90	90
7	Concava		X	80	80
8	Convexa	X		90	90
9	Concava		X	90	90
10	Concava	X		70	70
11	Convexa		X	80	80
12	Concava	X		70	70
13	Convexa		X	70	70
14	Concava	X		70	70
15	Concava	X		70	70
16	Convexa	X		70	70
17	Concava		X	70	70

Tabla 140. Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T5-2.

PIV N°	Forma de Inflexión	Elemento Crítico-Ubicación		Velocidad Elemento Ubicación (Km/h)	Velocidad Específica Curva Vertical VCV (Km/h)
		Sobre Curva	Sobre Entretangencia		
1	Convexa		X	60	60
2	Concava	X		60	60
3	Convexa	X		60	60
4	Convexa	X		60	60
5	Concava	X		60	60
6	Convexa		X	60	60
7	Convexa	X		60	60
8	Concava	X		60	60
9	Convexa	X		60	60
10	Concava	X		60	60
11	Concava		X	60	60
12	Convexa	X		60	60

Tabla 141. Asignación de V_{CV} para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	Elemento Crítico-Ubicación		Velocidad Elemento Ubicación (Km/h)	Velocidad Específica Curva Vertical VCV (Km/h)
		Sobre Curva	Sobre Entretangencia		
1	Convexa		X	80	80
2	Concava	X		80	80
3	Convexa	X		80	80
4	Convexa		X	80	80
5	Concava	X		80	80
6	Convexa		X	80	80
7	Convexa	X		70	70
8	Concava	X		70	70
9	Convexa	X		70	70
10	Concava	X		70	70
11	Concava		X	80	80
12	Convexa	X		70	70

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil, no se realizará la asignación de VCV para el subtrayecto T5-3.

La asignación de velocidades específicas a curvas verticales se empleara en análisis de parámetros posteriores, los cuales requieran la V_{CV} como variable de definición y estudio.

Velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}): “Dado que la carretera es una sola, la velocidad específica con la que se diseñen los elementos geométricos en perfil debe coincidir con la velocidad específica asignada a los elementos geométricos en planta.

La pendiente máxima que se le puede asignar a una tangente vertical es la asociada a la velocidad específica de la entretangencia horizontal coincidente.

En consecuencia, la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}) es igual a la velocidad específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).⁸⁰

Para la asignación de la velocidad específica a cada tangente vertical (V_{TV}), se toma la velocidad específica de la entretangencia horizontal coincidente (V_{ETH}) de la sección en planta, a continuación se efectúa el proceso de asignación para un trayecto particular del proyecto en estudio:

⁸⁰ Ibíd., p 47

Tabla 142. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T5-1.

Entretangencia N°	Velocidad Específica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Específica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)
1	50	50
2	50	50
3	50	50
4	60	60
5	70	70
6	70	70
7	60	60
8	70	70
9	70	70
10	70	70
11	70	70
12	60	60
13	60	60
14	50	50
15	50	50
16	50	50
17	50	50

Tabla 143. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

Entretangencia N°	Velocidad Específica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Específica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)
1	70	70
2	70	70
3	70	70
4	80	80
5	90	90
6	90	90
7	70	70
8	90	90
9	90	90
10	70	70
11	80	80
12	70	70
13	70	70
14	70	70
15	70	70
16	70	70
17	70	70

Tabla 144. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T5-2.

Entretangencia N°	Velocidad Específica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Específica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)
1	60	60
2	60	60
3	60	60
4	60	60
5	60	60
6	60	60
7	60	60
8	60	60
9	60	60
10	60	60
11	60	60
12	60	60

Tabla 145. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

Entretangencia N°	Velocidad Específica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Específica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)
1	80	80
2	80	80
3	80	80
4	80	80
5	80	80
6	80	80
7	70	70
8	70	70
9	70	70
10	70	70
11	80	80
12	70	70

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil, no se realizará la asignación de VTV para el subtrayecto T5-3

Las velocidades anteriores servirán de base para el análisis de parámetros siguientes en el desarrollo de este estudio.

3.3.1.3 Vehículo de diseño. “El diseño geométrico de una vía está orientado a definir un trazado que facilite la circulación de los vehículos tanto en el sentido longitudinal como en su ubicación en el sentido transversal de la calzada. El vehículo representativo de todos los vehículos que puedan circular por dicha vía se denomina vehículo de diseño. La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta

que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y sobrehanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).”⁸¹

El vehículo de diseño fue establecido por DEVINAR S.A. con base a estudios de conteo vehicular empleando el método manual y se determinó que este corresponde a un C3-S2.

A continuación, se describen las características principales del vehículo de diseño adoptado para el presente proyecto, se elige este vehículo porque es representativo de las características promedio del parque automotor que circulan por la red vial Nariñense. (Ver tabla 146)

Tabla 146. Principales características del vehículo de diseño.

Categoría	Longitud Total (m)	Ancho (m)	Longitud Tractocamión (m)	Longitud Semiremolque (m)
C3-S2	20.89	2.59	4.57	14.63

3.3.1.4 Distancia de visibilidad. “Una de las características más importantes que debe ofrecer el trazado de una carretera al conductor de un vehículo es la posibilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente.”⁸²

“La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella. De acuerdo con estos criterios se deberán tener en cuenta en el diseño de la carretera tres tipos de distancias de visibilidad.”⁸³

Las 3 distancias de visibilidad de parada a tener en cuenta son:

- Distancia de Visibilidad de Parada (Dp)
- Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (Da)
- Distancia de Visibilidad de Cruce (Dc)

⁸¹ Ibíd.

⁸² Ibíd.

⁸³ Ibíd., p 58

Para el caso de carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, se deben medir las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento. La distancia de visibilidad de cruce (D_c) no se tiene en cuenta en el presente trabajo debido a que este estudio no contempla el análisis de intersecciones rurales a nivel.

Nota: La anterior situación fue expuesta igualmente para el análisis comparativo del diseño geométrico del trayecto 5 referenciado al Manual del año 1998.

Distancia de visibilidad de parada (D_p): “Se considera como distancia de visibilidad de parada de un determinado punto de una carretera, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo que aparezca en su trayectoria al circular a la velocidad específica del elemento (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}) en el cual se quiere verificar esta distancia de visibilidad.

La longitud requerida para detener el vehículo será la suma de dos distancias: la distancia recorrida durante un tiempo de percepción y reacción y la distancia recorrida durante el frenado.

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (adoptado en dos y medio segundos (2.5 s) para efectos del proyecto) se mide desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos. En esta distancia se supone que el vehículo circula con movimiento uniforme a la velocidad específica del elemento.

La distancia recorrida durante el frenado se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente, circulando con movimiento uniformemente desacelerado con velocidad inicial igual a la velocidad específica del elemento. El valor de la desaceleración asumida es tal que no implica el bloqueo de las llantas al realizar el trabajo de frenado, aun en condiciones de pavimento húmedo. Este estudio fue realizado por la AASHTO y presentado en el Manual de Diseño Geométrico de AASHTO-2004.

La distancia de visibilidad de parada para pavimentos húmedos, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_p = 0.695V_e + \frac{V_e^2}{87.18} \quad [24]$$

Donde:

D_p : Distancia de visibilidad de parada, (m)

V_e : Velocidad Específica del elemento sobre el cual se ejerce la maniobra de frenado (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}), en km/h.

La anterior expresión es aplicable para tramos de rasantes a nivel (pendiente 0%).”⁸⁴

“Para carreteras con pendientes de rasante superiores a tres por ciento (3%), tanto en ascenso (+p) como en descenso (-p), se deberán realizar las correcciones necesarias a las distancias de visibilidad de parada para tramos a nivel. Con la siguiente ecuación se puede calcular la distancia recorrida durante el frenado (d) afectada por la pendiente de la rasante.

Donde:

$$d = \frac{Ve^2}{254 \left(\frac{a}{9.81} \pm \frac{p}{100} \right)} \quad [25]$$

d: Distancia recorrida durante el trabajo de frenado, en metros.

p: Pendiente de la rampa, en porcentaje.

Ve: Velocidad Específica del elemento sobre el cual se ejerce la maniobra de frenado (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}), en km/h.

a: Rata de desaceleración, igual a 3.4 m/s^2 .

La distancia corregida de visibilidad de parada en tramos con pendientes mayores a tres por ciento (3%) es:”⁸⁵

$$Dp = 0.695 Ve + d \quad [26]$$

“Curva convexa

Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad:

De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima se obtiene mediante la aplicación de la Distancia de Visibilidad de Parada (DP). Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (DP) y la Longitud de la curva (L): Cuando $DP < L$ y $DP > L$. Las ecuaciones que se indican a continuación presentan la longitud de la curva para cada relación, teniendo en cuenta la altura del ojo de conductor sobre la calzada (h_1), que es igual a un metro con ocho centímetros (1.08 m), y la altura del obstáculo (h_2), que es igual a sesenta centímetros (0.60 m).”⁸⁶

⁸⁴ Ibid., p 58

⁸⁵ Ibid., p 59

⁸⁶ Ibid., p 137

- Cuando $DP < L$

$$L = \frac{A * Dp^2}{658} \quad [27]$$

De la ecuación anterior, despejamos Dp y obtenemos:

$$Dp = \sqrt{\frac{658 * L}{A}} \quad [28]$$

Donde:

Dp: Distancia de Visibilidad de Parada en metros

L: Longitud Curva Vertical en metros

A: Diferencia Algebraica de Pendientes (%)

- Cuando $DP > L$

Para el análisis de este caso, se adopta la ecuación para $DP < L$, debido a que genera valores mayores que cubren los valores asociados a $DP > L$.

Mediante las fórmulas [25] y [26] se calcula la Dp teórica, y mediante los elementos geométricos que constituyen la curvas verticales (L y A) y de acuerdo a su forma de inflexión (En este caso curvas Convexas) calculamos la Dp existente, mediante la comparación de estos dos valores (Dp teórica y Dp existente) se establece si el diseño cumple o no con este parámetro, se aclara que el estudio de la Dp solo se efectuara para curvas verticales convexas debido a que ellas por su misma forma de inflexión representan la situación crítica para que el usuario se detenga con seguridad ante un obstáculo.

A continuación, se presenta el procedimiento para la verificación del parámetro Dp de la sección en perfil para el trayecto 5. (Ver tablas 147-151)

Tabla 147. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes A (%)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	DP Existente (m)	VCV (Km/h)	Pendiente (%)	Distancia Percepción - Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	110	85,83	50	-4,913	34,75	33,09	67,84	CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,00	10,111	320	144,31	50	-7,000	34,75	35,59	70,34	CUMPLE
5	Convexa	6,23	-2,838	9,068	300	147,54	70	-2,838	48,65	60,63	109,28	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	440	146,67	70	-6,603	48,65	68,76	117,41	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	260	145,49	70	-6,924	48,65	69,56	118,21	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,00	14,295	440	142,31	60	-7,000	41,70	51,24	92,94	CUMPLE
16	Convexa	1,00	-7,00	8,00	250	143,40	50	-7,000	34,75	35,59	70,34	CUMPLE

Tabla 148. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PIV N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes A (%)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	DP Existente (m)	VCV (Km/h)	Pendiente (%)	Distancia Percepción - Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	4,913	-4,913	9,826	110	85,83	70	-4,913	48,65	64,85	113,50	NO CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,00	10,111	320	144,31	70	-7,000	48,65	69,75	118,40	CUMPLE
5	Convexa	6,23	-2,838	9,068	300	147,54	90	-2,838	62,55	100,22	162,77	NO CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,458	440	146,67	90	-6,603	62,55	113,67	176,22	NO CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,082	260	145,49	80	-6,924	55,60	90,85	146,45	NO CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,00	14,295	440	142,31	70	-7,000	48,65	69,75	118,40	CUMPLE
16	Convexa	1,00	-7,00	8,00	250	143,40	70	-7,000	48,65	69,75	118,40	CUMPLE

Tabla 149. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T5-2.

PIV N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes A (%)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	DP Existente (m)	VCV (Km/h)	Pendiente (%)	Distancia Percepción - Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	6,963	-4,410	11,37	360	144,32	60	-4,410	41,70	46,86	88,56	CUMPLE
3	Convexa	7,00	-5,624	12,62	400	144,39	60	-5,624	41,70	48,82	90,52	CUMPLE
4	Convexa	-5,62	-6,955	1,33	50	157,22	60	-6,955	41,70	51,16	92,86	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,94	140	152,97	60	1,148	41,70	39,58	81,28	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,000	8,15	260	144,90	60	-7,000	41,70	51,24	92,94	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,64	280	146,06	60	-5,589	41,70	48,76	90,46	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,490	6,46	250	159,54	60	0,490	41,70	40,32	82,02	CUMPLE

Tabla 150. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

PIV N°	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes A (%)	Longitud de la Curva Vertical L (m)	DP Existente (m)	VCV (Km/h)	Pendiente (%)	Distancia Percepción - Reacción (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	6,963	-4,410	11,37	360	144,32	80	-4,410	55,60	83,30	138,90	CUMPLE
3	Convexa	7,00	-5,624	12,62	400	144,39	80	-5,624	55,60	86,78	142,38	CUMPLE
4	Convexa	-5,62	-6,955	1,33	50	157,22	80	-6,955	55,60	90,95	146,55	CUMPLE
6	Convexa	5,085	1,148	3,94	140	152,97	80	1,148	55,60	70,37	125,97	CUMPLE
7	Convexa	1,148	-7,000	8,15	260	144,90	70	-7,000	48,65	69,75	118,40	CUMPLE
9	Convexa	3,047	-5,589	8,64	280	146,06	70	-5,589	48,65	66,36	115,01	CUMPLE
12	Convexa	6,953	0,490	6,46	250	159,54	70	0,490	48,65	54,89	103,54	CUMPLE

Debido a que no se cuenta con el diseño en perfil del subtrayecto T5-3, no se realizará el análisis de Distancia de Visibilidad de Parada en perfil.

Del análisis para Distancia de Visibilidad de Parada (D_p) se obtuvieron los siguientes resultados: para una V_{TR} real de diseño = 50 Km/h, este parámetro se cumple satisfactoriamente (100%), mientras que para una V_{TR} teórica mínima de diseño = 70 Km/h se tienen porcentajes considerables de curvas no cumple en el subtrayecto T5-1 por lo cual se concluye que en él, el diseño presenta inconformidad respecto a este parámetro.

Tabla 151. Curvas verticales convexas trayecto 5 no cumplen Dp mínima.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	7	0	0,00	4	57,14
T5-2	Izquierda	7	0	0,00	0	0,00

Evaluación de la visibilidad en planos: “Este procedimiento se puede realizar utilizando programas de computador que permitan la verificación automática de las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, o se puede efectuar la verificación en abscisas particulares del proyecto, usualmente cada veinte o veinticinco metros (20 o 25 m), sobre los planos Planta-Perfil, en ambos sentidos de circulación. De esta manera el diseñador podrá apreciar de conjunto todo el trazado y realizar un proyecto más equilibrado.

En carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, se deben medir las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento.

Para efecto de la medición de las distancias de visibilidad se deben considerar las siguientes alturas:

- Altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: un metro con diez centímetros (1.10 m).
- Altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar: veinte centímetros (0.20 m).
- Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: un metro con treinta y cinco centímetros (1.35 m).⁸⁷

A. Evaluación y presentación de la visibilidad en planta:

Considerando los cambios que presenta el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008 expedido por el INVIAS respecto al del año 1998 se determina que los resultados obtenidos mediante este segundo Manual (año 1998) son similares si el análisis se hiciera con la fundamentación teórica actual, esto debido a que las alturas han variado, más exactamente la *altura de los ojos del conductor* y la *altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar*, pero el promedio de las dos sigue siendo la misma e igual a 0.65m, por lo tanto la

⁸⁷ Ibíd., p 68

traza respecto a obstrucciones laterales (Taludes) que limiten la visibilidad sigue siendo la misma y se obtendrán iguales resultados. De acuerdo en lo anteriormente expuesto los resultados obtenidos en el análisis comparativo de Trayecto 5 basado en el Manual de 1998 son iguales al estudio actual, por lo tanto no se efectúa desarrollo de este parámetro.

B. Evaluación de la visibilidad en perfil:

El análisis de la Distancia de Visibilidad de Parada (D_p) sobre planos para diseño vertical y en específico para curvas cuya forma de inflexión son convexas, permite determinar que el valor medido en planos es muy aproximado al obtenido mediante formulas como se indicó en el numeral 8.3.1.4., esto permite concluir que es más conveniente aplicar el análisis matemático debido a su precisión.

3.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera:

3.3.2.1 Curvas horizontales. A continuación, se hace la descripción general de las curvas y se indican los elementos que conforman los diferentes tipos de curvas, el presente diseño (Trayecto 5) presenta en su mayoría curvas espirales con empalme tipo Espiral-Círculo-Espiral (E-C-E), en menor número curvas Espiral-Espiral (E-E) y curvas circulares.

Empalme espiral-círculo-espiral (E-C-E)

“Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión (Δ) mediante arcos de transición y un arco circular de Radio (R_C). Los arcos de transición corresponden a espirales Clotoides que pueden ser de igual o diferente parámetro (A), es decir el empalme espiralizado puede ser simétrico de igual parámetro o asimétrico de diferente parámetro A_1 y A_2 para cada espiral.”⁸⁸

Empalme espiral - espiral (E-E)

“Corresponde al empalme de dos alineamientos rectos mediante dos ramas de espiral con un radio único en el centro, pero sin tramo circular ($\Delta_C = 0$ y $L_C = 0$). Puede ser un empalme espiralizado simétrico o asimétrico, es decir los parámetros de las espirales pueden ser iguales o diferentes.”⁸⁹

⁸⁸ Ibid., p 79

⁸⁹ Ibid., p 83

Radio de curvatura mínimo (RC_{mín}): “El radio mínimo (R_{Cmín}) es el valor límite de curvatura para una Velocidad Específica (V_{CH}) de acuerdo con el peralte máximo (e_{máx}) y el coeficiente de fricción transversal máxima (f_{Tmáx}). El Radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. El radio mínimo se calcula de acuerdo al criterio de seguridad ante el deslizamiento mediante la aplicación de la ecuación de equilibrio:

$$Rc_{min} = \frac{V_{CH}^2}{127 * (e_{max} + f_{Tmax})} \quad [29]$$

En la Tabla 152, se indican los valores de Radio mínimo para diferentes Velocidades Específicas (V_{CH}) según el peralte máximo (e_{máx}) y la fricción máxima (f_{Tmáx}).

Tabla 152. Radios Mínimos para Peralte Máximo e_{máx} = 8 % y Fricción Máxima⁹⁰

Velocidad Específica VCH (Km/h)	Peralte Máximo (%) e _{max}	Coeficiente de Fricción Transversal t _{tmax}	Total e _{max} + f _{tmax}	Radio Mínimo R (m)	
				Calculado	Redondeado
40	8.0	0.23	0.31	40.6	41
50	8.0	0.19	0.27	72.9	73
60	8.0	0.17	0.25	113.4	113
70	8.0	0.15	0.23	167.8	168
80	8.0	0.14	0.22	229.1	229
90	8.0	0.13	0.21	303.7	304
100	8.0	0.12	0.20	393.7	394
110	8.0	0.11	0.19	501.5	501
120	8.0	0.09	0.17	667.0	667
130	8.0	0.08	0.16	831.7	832

El análisis siguiente se realiza tanto para la V_{TR} real de diseño, como para la V_{TR} teórica mínima de diseño; para determinar el valor de radio mínimo en cada condición se emplea la Tabla 152 la cual se encuentra en función de la Velocidad específica de cada curva horizontal (V_{CH}), Peralte máximo (e_{máx}) y Coeficiente de fricción transversal máximo (F_{Tmáx}).

⁹⁰ Ibíd., p 104

Tabla 153. Chequeo radios mínimos T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Velocidad Real de Diseño (VTR = 50 Km/h)			Velocidad Teórica Mínima de Diseño (VTR = 70 Km/h)		
			Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Rexistente $\geq R_{mín}$	Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Rexistente $\geq R_{mín}$
1	E-C-E	80,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	230,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
3	E-E	244,41	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
4	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
5	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	90	304,00	NO CUMPLE
6	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	90	304,00	NO CUMPLE
7	Circular	1000,00	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
8	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
9	Circular	1000,00	70	168,00	CUMPLE	90	304,00	CUMPLE
10	E-C-E	240,00	70	168,00	CUMPLE	90	304,00	NO CUMPLE
11	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
12	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
13	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
14	E-C-E	250,00	70	168,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
15	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
16	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
17	E-C-E	230,00	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
18	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
19	E-C-E	250,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
20	E-C-E	250,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
21	E-C-E	250,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
22	E-C-E	250,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
23	E-C-E	250,00	50	73,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
24	E-C-E	250,00	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE

Tabla 154. Chequeo radios mínimos T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Velocidad Real de Diseño (VTR = 50 Km/h)			Velocidad Teórica Mínima de Diseño (VTR = 70 Km/h)		
			Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Rexistente $\geq R_{mín}$	Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Rexistente $\geq R_{mín}$
1	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
2	Circular	1000	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
3	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
4	Circular	1000	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
5	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
6	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
7	E-C-E	235	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
8	E-C-E	235	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
9	E-C-E	235	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
10	E-C-E	235	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
11	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
12	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
13	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
14	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
15	Circular	500	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
16	Circular	500	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
17	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	80	229,00	CUMPLE
18	Circular	500	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE
19	Circular	250	60	113,00	CUMPLE	70	168,00	CUMPLE

Tabla 155. Chequeo radios mínimos T5-3.

PI Nº	Tipo de Empalme	Radio Existente (m)	Velocidad Real de Diseño (VTR = 50 Km/h)			Velocidad Teórica Mínima de Diseño (VTR = 60 Km/h)		
			Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Resistente ≥ Rmín	Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Chequeo Resistente ≥ Rmín
1	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	60	113,00	CUMPLE
2	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	60	113,00	CUMPLE
3	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	60	113,00	CUMPLE
4	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	60	113,00	CUMPLE
5	E-C-E	250	60	113,00	CUMPLE	60	113,00	CUMPLE

De los resultados obtenidos del análisis de radios mínimos para curvas horizontales se concluye que solamente para el subtrayecto T5-1, V_{TR} Real de Diseño, se presenta un bajo porcentaje de curvas no cumplen. Los subtrayectos T5-2 y T5-3 presentan un cumplimiento del 100% tanto para la V_{TR} real de diseño como para la V_{TR} Teórica Mínima de Diseño. (Ver tabla 156)

Tabla 156. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen radio de curvatura mínimo.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	4	16,67
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0	0,00
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00

Longitud mínima de la espiral: “La longitud mínima de la espiral se puede definir mediante el parámetro mínimo de la Clotoide, el cual se establece con base en el estudio y análisis de tres criterios relacionados con la seguridad y comodidad del usuario de la vía. El valor del parámetro de diseño, se tomará de acuerdo con la envolvente superior de los valores determinados para cada uno de los criterios establecidos. Los criterios anunciados son los siguientes:

Criterio I. Variación uniforme de la aceleración centrífuga (J), no compensada por el peralte; su valor se determina mediante la siguiente relación:

$$Amín = \sqrt{\frac{V_{CH} * Rc}{46.656 * J} \left(\frac{V_{CH}^2}{Rc} - 1.27(e) \right)} \quad [30]$$

Donde:

Amín: Parámetro mínimo, en metros.

VCH: Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.

RC: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

J: Variación de la aceleración centrífuga, en m/s^3 .

e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).

Se adoptan para J, los valores específicos dados en la Tabla 157.

Tabla 157. Variación de la aceleración centrífuga (J).⁹¹

VCH (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J (m/s ²)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

Para los Criterios II y III, el sustento teórico del presente análisis no presenta variación respecto al propuesto para el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras año 1998; el cálculo de los valores del parámetro A en función de los criterios II y III se presentan a continuación a modo de comparación con el valor obtenido mediante el criterio I y poder así determinar la envolvente mayor y determinar la longitud mínima de la espiral. Igualmente ocurre para la longitud máxima de espiral cuyos valores corresponden a los calculados en el análisis comparativo efectuado mediante el manual del año 1998.

A continuación, se efectúa el procedimiento de análisis del parámetro actual de estudio para un trayecto en particular:

⁹¹ Ibíd., p 117

Tabla 158. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amin (m)	Criterio II Amin (m)	Criterio III 1 Amin (m)	Criterio III 2 Amin (m)	Envolvente Superior Amin (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LeminsLesLemax
1	E-C-E Sim	8,0	80,00	45,00	50,82	55,08	41,87	25,89	55,08	88,00	37,92	96,80	CUMPLE
2	E-C-E Sim	7,5	230,00	65,00	21,76	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
3	E-E Sim	7,4	244,41	75,00	17,63	92,59	96,74	79,09	96,74	268,85	38,29	295,74	CUMPLE
4	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
5	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
6	E-C-E Sim	7,4	250,00	89,40	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
7	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
8	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
9	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
10	E-C-E Sim	7,5	240,00	65,00	74,85	92,37	95,43	77,66	95,43	264,00	37,95	290,40	CUMPLE
11	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E Sim	7,4	250,00	50,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
14	E-C-E Sim	7,4	250,00	85,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
15	E-C-E Sim	7,4	250,00	85,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
16	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
17	E-C-E Sim	7,5	230,00	56,00	50,88	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
18	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
19	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
20	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
21	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
22	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
23	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	15,18	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
24	E-C-E Sim	7,4	250,00	45,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE

Tabla 159. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amin (m)	Criterio II Amin (m)	Criterio III 1 Amin (m)	Criterio III 2 Amin (m)	Envolvente Superior Amin (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LeminsLesLemax
1	E-C-E Sim	8,0	80,00	45,00	93,60	55,08	41,87	25,89	93,60	88,00	109,50	96,80	NO CUMPLE
2	E-C-E Sim	7,5	230,00	65,00	76,20	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
3	E-E Sim	7,4	244,41	75,00	74,69	92,59	96,74	79,09	96,74	268,85	38,29	295,74	CUMPLE
4	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
5	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	135,97	93,65	98,40	80,90	135,97	275,00	73,95	302,50	CUMPLE
6	E-C-E Sim	7,4	250,00	89,40	135,97	93,65	98,40	80,90	135,97	275,00	73,95	302,50	CUMPLE
7	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
8	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
9	Circular	4,7	1000,00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
10	E-C-E Sim	7,5	240,00	65,00	136,72	92,37	95,43	77,66	136,72	264,00	77,88	290,40	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E Sim	7,4	250,00	50,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
14	E-C-E Sim	7,4	250,00	85,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
15	E-C-E Sim	7,4	250,00	85,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
16	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
17	E-C-E Sim	7,5	230,00	56,00	76,20	90,43	92,43	74,43	92,43	253,00	37,15	278,30	CUMPLE
18	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
19	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
20	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
21	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
22	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
23	E-C-E Sim	7,4	250,00	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
24	E-C-E Sim	7,4	250,00	45,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE

Tabla 160. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amín (m)	Criterio II Amín (m)	Criterio III 1 Amín (m)	Criterio III 2 Amín (m)	Envolverte Superior Amín (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLesLemax
1	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
2	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
3	E-C-E	7,40	250	75,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
4	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
5	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
6	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
7	E-C-E	7,50	235	65,00	50,02	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
8	E-C-E	7,50	235	65,00	50,02	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
9	E-C-E	7,50	235	65,00	50,02	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
10	E-C-E	7,50	235	65,00	50,02	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
11	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E	7,40	250	65,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
14	E-C-E	7,40	250	85,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
15	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
16	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
17	E-C-E	7,40	250	85,00	47,93	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
18	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
19	Circular	7,40	250	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

Tabla 161. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amín (m)	Criterio II Amín (m)	Criterio III 1 Amín (m)	Criterio III 2 Amín (m)	Envolverte Superior Amín (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLesLemax
1	E-C-E	7,40	250	65,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
2	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
3	E-C-E	7,40	250	75,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
4	Circular	4,70	1000	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
5	E-C-E	7,40	250	65,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
6	E-C-E	7,40	250	65,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
7	E-C-E	7,50	235	65,00	109,06	91,40	93,94	76,05	109,06	258,50	50,61	284,35	CUMPLE
8	E-C-E	7,50	235	65,00	75,53	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
9	E-C-E	7,50	235	65,00	75,53	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
10	E-C-E	7,50	235	65,00	75,53	91,40	93,94	76,05	93,94	258,50	37,55	284,35	CUMPLE
11	E-C-E	7,40	250	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
12	E-C-E	7,40	250	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
13	E-C-E	7,40	250	65,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
14	E-C-E	7,40	250	85,00	73,94	93,65	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
15	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
16	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
17	E-C-E	7,40	250	85,00	107,59	93,65	98,40	80,90	107,59	275,00	46,30	302,50	CUMPLE
18	Circular	6,10	500	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
19	Circular	7,40	250	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA

Tabla 162. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} real de diseño T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amín (m)	Criterio II Amín (m)	Criterio III 1 Amín (m)	Criterio III 2 Amín (m)	Envolt e Superior Amín (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLeLemax
1	E-C-E	7,80	250	75,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
2	E-C-E	7,80	250	55,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
3	E-C-E	7,80	250	85,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
4	E-C-E	7,80	250	65,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
5	E-C-E	7,80	250	45,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE

Tabla 163. Chequeo longitud espiral Le mín. y Le máx. V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le Existente (m)	Criterio I Amín (m)	Criterio II Amín (m)	Criterio III 1 Amín (m)	Criterio III 2 Amín (m)	Envolt e Superior Amín (m)	A máx (m)	Le mín (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLeLemax
1	E-C-E	7,80	250	75,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
2	E-C-E	7,80	250	55,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
3	E-C-E	7,80	250	85,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
4	E-C-E	7,80	250	65,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE
5	E-C-E	7,80	250	45,00	45,43	96,14	98,40	80,90	98,40	275,00	38,73	302,50	CUMPLE

Para el diseño geométrico del trayecto 5 se obtuvieron los siguientes resultados con base en el análisis de Le máxima y Le mínima respecto al manual del año 2008: para la V_{TR} real de diseño correspondiente a 50 km/h el trayecto 5 cumple satisfactoriamente con este parámetro; para la velocidad teórica mínima de diseño el subtrayecto T5-1 presenta un bajo porcentaje de curvas no cumple y los subtrayectos T5-2 y T5-3 presentan un cumplimiento del 100%. (Ver tabla 164)

Tabla 164. Curvas horizontales trayecto 5 No cumplen longitud Espiral Le mín. y Le máx.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	24	0	0,00	2	8,33
T5-2	Izquierda	19	0	0,00	0	0,00
T5-3	Derecha	5	0	0,00	0	0,00

Sobreancho de calzada: Para estudio y análisis de este parámetro, el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008 toma como base dos tipos de vehículos: *rígidos y articulados*; el análisis de Sobreancho para vehículos rígidos presenta el mismo sustento teórico en el estudio ya efectuado con base en el manual del año 1998, por lo tanto el chequeo para el presente análisis solo se efectúa para vehículos articulados, el cual corresponde a un C3-S2; el cual se toma como vehículo de diseño para el diseño del trayecto 5.

- **Vehículos articulados**

“La expresión recomendada para el cálculo del Sobreancho en curva es la siguiente:

$$S = A_C - A_T \quad [31]$$

Donde:

S: Sobreancho requerido por la calzada, en metros.

A_C: Ancho de la calzada en curva, en metros.

A_T: Ancho de la calzada en tangente, en metros.

Ahora bien:

$$A_C = n * (U + C) + (n - 1) * F_A + Z \quad [32]$$

Donde:

n: Número de carriles de la calzada

U: Ancho ocupado por el vehículo cuando está describiendo la trayectoria en la curva, en metros.

$$U = u + Rc - \sqrt{Rc^2 - (L_1 + L_2 + L_3)^2} \quad [33]$$

Donde:

u: Ancho del vehículo en tangente, en metros (Tabla 166)

RC: Radio de la curva, en metros.

L1, L2 y L3: Dimensiones del vehículo, en metros (Tabla 165)

C: Espacio lateral de seguridad que requiere cada vehículo, en metros.

En la tabla siguiente, se presenta el valor de C en función del ancho de la calzada.

Tabla 165. Valor de C en función del ancho de la calzada.

	Ancho de Calzada en Tangente AT (m)		
	6.00	6.60	7.20
C (m)	0.60	0.75	0.90

F_A: Avance del voladizo delantero del vehículo sobre el carril adyacente, cuando está describiendo la trayectoria curva.

$$F_A = \sqrt{R_c^2 + A(2L_1 + A)} - R_c \quad [34]$$

Donde:

R_C: Radio de la curva, en metros.

A: Valor del voladizo o saliente delantero del vehículo, en metros (Tabla 166)

L1: Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora, en metros (Tabla 166)

Z: Sobreancho adicional de seguridad, que depende de la curvatura y de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y cuyo propósito es facilitar la conducción sobre la curva, en metros. Este valor es experimental.

$$Z = 0.1 \sqrt{\frac{V_{CH}}{R_c}} \quad [35]$$

En la tabla 166, se especifican las dimensiones del vehículo articulado empleadas en el cálculo del sobreancho:

Tabla 166. Dimensiones vehículo articulado para sobreancho de calzada.”⁹²

	Categoría	A (m)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	U (m)
C3-S2	Tractocamión de tres ejes con Semiremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.00	12.97	2.59

Para el análisis del sobreancho se tendrán en cuenta aquellos valores mayores o iguales a 0.6 m que son constructivamente adecuados y se debe aplicar solamente en el borde interior de la calzada.

A pesar de que el cálculo del sobreancho involucra el factor velocidad, esta no es muy determinante en el valor final de este, estableciéndose que los valores de sobreancho tanto para la velocidad real de diseño como para la mínima teórica son iguales, por lo tanto el análisis solo se efectúa para la V_{TR} real, entendiendo que los resultados para la V_{TR} teórica mínima de diseño son similares. A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo del sobreancho y su posterior análisis para un trayecto en particular. (Ver tablas 167-172)

⁹² Ibíd., p 157

Tabla 167. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-1 V_{TR} real de diseño.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente ≥ SCalculado
1	E-C-E	80,00	50	7,30	2,0	4,86	0,93	0,10	0,08	11,76	4,46	0,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	230,00	50	7,30	2,0	3,37	0,93	0,03	0,05	8,68	1,38	0,00	NO CUMPLE
3	E-E	244,41	50	7,30	2,0	3,32	0,93	0,03	0,05	8,58	1,28	0,00	NO CUMPLE
4	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
5	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
6	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
7	Circular	1000,00	60	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,02	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
8	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
9	Circular	1000,00	70	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,03	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
10	E-C-E	240,00	70	7,30	2,0	3,34	0,93	0,03	0,05	8,62	1,32	0,00	NO CUMPLE
11	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
12	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
13	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
14	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
15	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
16	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
17	E-C-E	230,00	60	7,30	2,0	3,37	0,93	0,03	0,05	8,68	1,38	0,00	NO CUMPLE
18	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
19	E-C-E	250,00	50	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,04	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
20	E-C-E	250,00	50	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,04	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
21	E-C-E	250,00	50	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,04	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
22	E-C-E	250,00	50	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,04	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
23	E-C-E	250,00	50	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,04	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
24	E-C-E	250,00	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE

Tabla 168. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI Nº	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente ≥ SCalculado
1	E-C-E	80,00	70	7,30	2,0	4,86	0,93	0,10	0,09	11,77	4,47	0,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	230,00	70	7,30	2,0	3,37	0,93	0,03	0,06	8,69	1,39	0,00	NO CUMPLE
3	E-E	244,41	70	7,30	2,0	3,32	0,93	0,03	0,05	8,59	1,29	0,00	NO CUMPLE
4	E-C-E	250,00	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
5	E-C-E	250,00	90	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,57	1,27	0,00	NO CUMPLE

6	E-C-E	250,00	90	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,57	1,27	0,00	NO CUMPLE
7	Circular	1000,00	80	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,03	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
8	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
9	Circular	1000,00	90	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,03	7,44	0,14	0,00	NO APLICA
10	E-C-E	240,00	90	7,30	2,0	3,34	0,93	0,03	0,06	8,63	1,33	0,00	NO CUMPLE
11	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
12	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
13	E-C-E	250,00	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
14	E-C-E	250,00	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
15	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
16	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
17	E-C-E	230,00	70	7,30	2,0	3,37	0,93	0,03	0,06	8,69	1,39	0,00	NO CUMPLE
18	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
19	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
20	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
21	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
22	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
23	E-C-E	250,00	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
24	E-C-E	250,00	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE

Tabla 169. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-2 V_{TR} real de diseño.

PI Nº	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Minimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente ≥ SCalculado
1	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
2	Circular	1000	60	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,02	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
3	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
4	Circular	1000	60	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,02	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
5	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
6	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
7	E-C-E	235	60	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
8	E-C-E	235	60	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
9	E-C-E	235	60	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
10	E-C-E	235	60	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
11	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
12	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
13	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
14	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
15	Circular	500	60	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,03	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
16	Circular	500	60	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,03	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
17	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
18	Circular	500	60	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,03	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
19	Circular	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE

Tabla 170. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente $\geq$ SCalculado
1	E-C-E	250	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
2	Circular	1000	80	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,03	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
3	E-C-E	250	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
4	Circular	1000	80	7,30	2,0	2,77	0,93	0,01	0,03	7,43	0,13	0,00	NO APLICA
5	E-C-E	250	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
6	E-C-E	250	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
7	E-C-E	235	80	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,06	8,66	1,36	0,00	NO CUMPLE
8	E-C-E	235	70	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
9	E-C-E	235	70	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
10	E-C-E	235	70	7,30	2,0	3,35	0,93	0,03	0,05	8,65	1,35	0,00	NO CUMPLE
11	E-C-E	250	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
12	E-C-E	250	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
13	E-C-E	250	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
14	E-C-E	250	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
15	Circular	500	70	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,04	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
16	Circular	500	80	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,04	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
17	E-C-E	250	80	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,06	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE
18	Circular	500	70	7,30	2,0	2,95	0,93	0,02	0,04	7,81	0,51	0,00	NO APLICA
19	Circular	250	70	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,56	1,26	0,00	NO CUMPLE

Tabla 171. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-3 V_{TR} real de diseño.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente $\geq$ SCalculado
1	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
3	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
4	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
5	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE

Tabla 172. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T5-3 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI N°	Tipo de Empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	Numero de Carriles n	U (m)	C (m)	FA (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho Mínimo Calculado (m)	Sobreancho Existente (m)	SExistente $\geq$ SCalculado
1	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
3	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
4	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE
5	E-C-E	250	60	7,30	2,0	3,31	0,93	0,03	0,05	8,55	1,25	0,00	NO CUMPLE

En general, se obtuvo que el trayecto 5 presenta un porcentaje del 100% de curvas no cumple tanto para la V_{TR} Real de Diseño como para la V_{TR} Teórica Mínima de Diseño respecto al valor de 0.6 m (el cual constructivamente es aplicable), determinándose que los valores empleados en el diseño son inadecuados respecto a los teóricos calculados con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008. (Ver tabla 173)

Tabla 173. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen sobreancho mínimo vehículos articulados.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	24	24	100,00	24	100,00
T5-2	Izquierda	19	19	100,00	19	100,00
T5-3	Derecha	5	5	100,00	5	100,00

Visibilidad en curvas horizontales: En cuanto al estudio de este parámetro, se emplea como base el análisis geométrico en curvas horizontales expresado mediante la flecha M, la cual garantiza una adecuada D_p (distancia de visibilidad de parada) asegurando que el usuario transite por la vía con seguridad. Respecto al sustento teórico presentado por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008, no presenta variación de acuerdo a lo presentado en el manual del año 1998, por lo cual los resultados obtenidos en el estudio con base en este manual (Manual año 2008) serán similares a los obtenidos en el análisis ya efectuado (Manual año 1998).

Curvas espirales: En el presente diseño, la totalidad de curvas presentadas corresponden a espirales, por lo cual es necesario efectuar un análisis respecto a ciertos parámetros que las caracterizan y son muy importantes para asegurar un recorrido seguro, cómodo, económico y rápido por la vía.

A. Empalme Espiral-Círculo-Espiral

- Longitud circular mínima

En las curvas espiralizadas que tiene tramo circular se reitera la necesidad de limitar la longitud de dicho tramo con la distancia recorrida a la Velocidad Específica (V_{CH}) durante dos segundos (2 s). A continuación, se presenta el procedimiento de análisis de este parámetro para el trayecto 5, tanto para V_{TR} real de diseño como para V_{TR} teórica mínima de diseño. (Ver tabla 174)

Tabla 174. Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	VCH para VTR = 50 Km/h (Velocidad Real de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lcmín	VCH para VTR = 70 Km/h (Velocidad Teórica Mínima de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lcmín
1	E-C-E	106,67	50	27,78	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
2	E-C-E	11,94	50	27,78	NO CUMPLE	70	38,89	NO CUMPLE
3	E-E	0,00	50	-	NO APLICA	70	-	NO APLICA
4	E-C-E	23,58	60	33,33	NO CUMPLE	80	44,44	NO CUMPLE
5	E-C-E	136,69	70	38,89	CUMPLE	90	50,00	CUMPLE
6	E-C-E	211,90	70	38,89	CUMPLE	90	50,00	CUMPLE
7	Circular	159,75	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
8	E-C-E	50,26	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
9	Circular	106,94	70	38,89	CUMPLE	90	50,00	CUMPLE
10	E-C-E	148,66	70	38,89	CUMPLE	90	50,00	CUMPLE
11	E-C-E	60,90	70	38,89	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
12	E-C-E	81,04	70	38,89	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
13	E-C-E	49,72	70	38,89	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
14	E-C-E	67,88	70	38,89	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
15	E-C-E	183,72	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
16	E-C-E	48,84	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
17	E-C-E	249,10	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
18	E-C-E	216,07	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
19	E-C-E	267,95	50	27,78	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
20	E-C-E	25,42	50	27,78	NO CUMPLE	70	38,89	NO CUMPLE
21	E-C-E	36,94	50	27,78	CUMPLE	70	38,89	NO CUMPLE
22	E-C-E	98,76	50	27,78	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
23	E-C-E	82,79	50	27,78	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
24	E-C-E	152,35	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE

Tabla 175. Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} Teórica mínima de diseño T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	VCH para VTR = 50 Km/h (Velocidad Real de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lc mín	VCH para VTR = 70 Km/h (Velocidad Teórica Mínima de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lc mín
1	E-C-E	152,35	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
2	Circular	440,86	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
3	E-C-E	103,82	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
4	Circular	329,15	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
5	E-C-E	110,4	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
6	E-C-E	67,89	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
7	E-C-E	206,74	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
8	E-C-E	115,01	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
9	E-C-E	152,43	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
10	E-C-E	412,18	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
11	E-C-E	47,38	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
12	E-C-E	167,05	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
13	E-C-E	35,54	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	NO CUMPLE
14	E-C-E	7,03	60	33,33	NO CUMPLE	70	38,89	NO CUMPLE
15	Circular	129,29	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
16	Circular	149,82	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
17	E-C-E	96,96	60	33,33	CUMPLE	80	44,44	CUMPLE
18	Circular	147,41	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE
19	Circular	103,59	60	33,33	CUMPLE	70	38,89	CUMPLE

Tabla 176. Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Lc Existente (m)	VCH para VTR = 50 Km/h (Velocidad Real de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lc mín	VCH para VTR = 70 Km/h (Velocidad Teórica Mínima de Diseño)	Lc Mínima (m)	Chequeo LcExistente $\geq$ Lc mín
1	E-C-E	61,96	60	33,33	CUMPLE	60	33,33	CUMPLE
2	E-C-E	187,74	60	33,33	CUMPLE	60	33,33	CUMPLE
3	E-C-E	155,17	60	33,33	CUMPLE	60	33,33	CUMPLE
4	E-C-E	8,66	60	33,33	NO CUMPLE	60	33,33	NO CUMPLE
5	E-C-E	58,59	60	33,33	CUMPLE	60	33,33	CUMPLE

El análisis del parámetro anterior permite determinar que se presentan porcentajes relativamente bajos de curvas no cumplen, tanto para V_{TR} real de diseño, como para la V_{TR} teórica mínima de diseño, con lo cual se puede definir que las longitudes circulares en curvas horizontales no son adecuadas para el diseño del trayecto 5. (Ver tabla 177)

Tabla 177. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen longitud circular mínima.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	24	3	12,50	4	16,67
T5-2	Izquierda	19	1	5,26	2	10,53
T5-3	Derecha	5	1	20,00	1	20,00

B. Empalme Espiral-espiral

“Este tipo de empalme está limitado a casos en que la deflexión total (Δ) no exceda de veinte grados (20°). Además, el ángulo θ_e de cada una de las espirales estará limitado a un valor máximo de diez grados (10°) y prefiriendo utilizar el empalme espiral-espiral simétrico al asimétrico.”⁹³

El sustento teórico anterior es similar al presentado en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998, por lo tanto no se desarrolla análisis para este parámetro, y consecuentemente los resultados obtenidos para el manual del año 1998 serán tenidos en cuenta para el estudio actual.

Transición de peralte:

- **Peralte Máximo**

“Cuando un vehículo circula por una curva horizontal a una velocidad dada, el diseño de la vía en dicha curva debe garantizar al conductor un recorrido seguro y confortable. Para lograr este objetivo es necesario recurrir a las leyes de la física mediante la ecuación de equilibrio, esta permite definir la relación entre el radio (R_C) de la curva horizontal, la Velocidad Específica (V_{CH}), el peralte (e) y la fricción transversal (f_T), con la cual se tiene el equilibrio de las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva. La ecuación de la curva es la siguiente:

$$R_C = \frac{V_{CH}^2}{127 * (e + f_T)} \quad [36]$$

Donde:

R_C : Radio de la curva circular, en metros.

V_{CH} : Velocidad Específica para la que se diseña la curva, en km/h.

e : Peralte de la calzada en la curva, en tanto por uno.

f_T : Coeficiente de fricción transversal.”⁹⁴

⁹³ Ibíd., p 83

⁹⁴ Ibíd., p 102

“Para carreteras primarias y secundarias

Para estos tipos de vías establece como peralte máximo ocho por ciento (8%), el cual permite no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores, especialmente a los vehículos con centro de gravedad muy alto y a los vehículos articulados (tracto-camión con remolque) los cuales pueden tener un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con peraltes muy altos.”⁹⁵

Para el análisis del peralte máximo, se parte de la asignación de la V_{CH} a cada curva horizontal atendiendo los criterios consignados en el Manual para Diseño Geométrico de Carreteras año 2008. Una vez asignada la Velocidad Específica (V_{CH}) a cada curva horizontal y con el Radio de curvatura empleado de diseño (R_C), que se supone es el que permite ajustar de la mejor manera la trayectoria de la curva a la topografía del terreno, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su Radio (R_C) permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la Velocidad Específica (V_{CH}). Este peralte será comparado con el con el valor presentado en el diseño.

En la Tabla 178, se presenta el valor del peralte en función de la V_{CH} y el R_C para carreteras Primarias ($e_{m\acute{a}x} = 8\%$).

⁹⁵ Ibíd., p 103

“Tabla 178. Radios mínimos para peralte máximo $e_{\text{máx}} = 8 \%$ y fricción máxima.”⁹⁶

e (%)	VCH = 40 Km/h R (m)	VCH = 50 Km/h R (m)	VCH = 60 Km/h R (m)	VCH = 70 Km/h R (m)	VCH = 80 Km/h R (m)	VCH = 90 Km/h R (m)	VCH = 100 Km/h R (m)	VCH = 110 Km/h R (m)	VCH = 120 Km/h R (m)	VCH = 130 Km/h R (m)
1.50	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2.00	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2.20	512	711	976	1300	1620	980	2420	2790	3290	3620
2.40	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2.60	421	587	808	1080	1350	1165	2020	2340	2760	3050
2.80	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3.00	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3.20	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3.40	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3.60	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3.80	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4.00	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4.20	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4.40	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4.60	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4.80	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5.00	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5.20	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5.40	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5.60	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5.80	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6.00	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6.20	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6.40	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6.60	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6.80	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7.00	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7.20	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7.40	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7.60	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7.80	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8.00	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

A continuación se presenta el procedimiento de análisis para el parámetro peralte en curvas horizontales para un trayecto en particular: (Ver tablas 179 -182)

⁹⁶ Ibíd., p 103

Tabla 179. Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	50	80,00	7,90	8,00	NO CUMPLE
2	E-C-E	50	230,00	5,20	7,50	NO CUMPLE
3	E-E	50	244,41	5,10	7,40	NO CUMPLE
4	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE
5	E-C-E	70	250,00	7,10	7,40	NO CUMPLE
6	E-C-E	70	250,00	7,10	7,40	NO CUMPLE
7	Circular	60	1000,00	2,10	4,70	NO CUMPLE
8	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE
9	Circular	70	1000,00	2,70	4,70	NO CUMPLE
10	E-C-E	70	240,00	7,30	7,50	NO CUMPLE
11	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
12	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
13	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
14	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
15	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE
16	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE
17	E-C-E	60	230,00	6,30	7,50	NO CUMPLE
18	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE
19	E-C-E	50	250,00	4,90	7,40	NO CUMPLE
20	E-C-E	50	250,00	4,90	7,40	NO CUMPLE
21	E-C-E	50	250,00	4,90	7,40	NO CUMPLE
22	E-C-E	50	250,00	4,90	7,40	NO CUMPLE
23	E-C-E	50	250,00	4,90	7,40	NO CUMPLE
24	E-C-E	60	250,00	6,10	7,40	NO CUMPLE

Tabla 180. Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	70	80,00	8,00	8,00	CUMPLE
2	E-C-E	70	230,00	7,50	7,50	CUMPLE
3	E-E	70	244,41	7,40	7,40	CUMPLE
4	E-C-E	80	250,00	7,90	7,40	NO CUMPLE
5	E-C-E	90	250,00	8,00	7,40	NO CUMPLE
6	E-C-E	90	250,00	8,00	7,40	NO CUMPLE
7	Circular	80	1000,00	3,30	4,70	NO CUMPLE
8	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
9	Circular	90	1000,00	4,00	4,70	NO CUMPLE
10	E-C-E	90	240,00	8,00	7,50	NO CUMPLE
11	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
12	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
13	E-C-E	80	250,00	7,90	7,40	NO CUMPLE
14	E-C-E	80	250,00	7,90	7,40	NO CUMPLE
15	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
16	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
17	E-C-E	70	230,00	7,50	7,50	CUMPLE
18	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
19	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
20	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
21	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
22	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
23	E-C-E	70	250,00	7,20	7,40	NO CUMPLE
24	E-C-E	80	250,00	7,90	7,40	NO CUMPLE

Tabla 181. Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
2	Circular	60	1000	2,10	4,7	NO CUMPLE
3	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
4	Circular	60	1000	2,10	4,7	NO CUMPLE
5	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
6	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
7	E-C-E	60	235	6,20	7,5	NO CUMPLE
8	E-C-E	60	235	6,20	7,5	NO CUMPLE
9	E-C-E	60	235	6,20	7,5	NO CUMPLE
10	E-C-E	60	235	6,20	7,5	NO CUMPLE
11	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
12	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
13	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
14	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
15	Circular	60	500	3,90	6,1	NO CUMPLE
16	Circular	60	500	3,90	6,1	NO CUMPLE
17	E-C-E	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE
18	Circular	60	500	3,90	6,1	NO CUMPLE
19	Circular	60	250	6,00	7,4	NO CUMPLE

Tabla 182. Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	80	250	7,90	7,40	NO CUMPLE
2	Circular	80	1000	3,30	4,70	NO CUMPLE
3	E-C-E	80	250	7,90	7,40	NO CUMPLE
4	Circular	80	1000	3,30	4,70	NO CUMPLE
5	E-C-E	80	250	7,90	7,40	NO CUMPLE
6	E-C-E	80	250	7,90	7,40	NO CUMPLE
7	E-C-E	80	235	7,90	7,50	NO CUMPLE
8	E-C-E	70	235	7,40	7,50	NO CUMPLE
9	E-C-E	70	235	7,40	7,50	NO CUMPLE
10	E-C-E	70	235	7,40	7,50	NO CUMPLE
11	E-C-E	70	250	7,20	7,40	NO CUMPLE
12	E-C-E	70	250	7,20	7,40	NO CUMPLE
13	E-C-E	70	250	7,20	7,40	NO CUMPLE
14	E-C-E	70	250	7,20	7,40	NO CUMPLE
15	Circular	70	500	4,80	6,10	NO CUMPLE
16	Circular	80	500	5,70	6,10	NO CUMPLE
17	E-C-E	80	250	7,90	7,40	NO CUMPLE
18	Circular	70	500	4,80	6,10	NO CUMPLE
19	Circular	70	250	7,20	7,40	NO CUMPLE

Tabla 183. chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
2	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
3	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
4	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
5	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE

Tabla 184. Chequeo peralte máximo V_{TR} teórica mínima de diseño T5-3.

PI N°	Tipo de Empalme	Velocidad Específica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e % (Teórico)	Peralte e % (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
2	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
3	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
4	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE
5	E-C-E	60	250	6,00	7,80	NO CUMPLE

Del análisis anterior para el trayecto 5, se determina que para la V_{TR} real de diseño el trayecto 5 presenta un porcentaje del 100% de curvas no cumple, sin embargo pese a la gran inconformidad que presenta este parámetro aplicado en el proyecto, las diferencias de los peraltes teóricos respecto a los del diseño son pequeñas, por lo cual se puede definir que los valores empleados son adecuados

en su mayoría. Lo anterior aplica también para la velocidad teórica mínima de diseño correspondiente a cada trayecto en estudio. (Ver tabla 185)

Tabla 185. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen peralte.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	24	24	100,00	20	83,33
T5-2	Izquierda	19	19	100,00	19	100,00
T5-3	Derecha	5	5	100,00	5	100,00

- Transición de peralte

Debido a que el fundamento teórico de transición de peralte no varía respecto al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, el análisis de este parámetro es similar al presentado en el estudio para dicho manual.

- Rampa de peralte

Debido a que el fundamento teórico de rampa de peralte no varía respecto al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, el análisis de este parámetro es similar al presentado en el estudio para dicho manual.

Entretangencia horizontal: Debido a que el fundamento teórico de entretangencia horizontal no varía respecto al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, el análisis de este parámetro es similar al presentado en el estudio para dicho manual.

Relación entre los radios de curvas horizontales contiguas: “Curvas sucesivas con entretangencia menor de cuatrocientos metros (400 m) se consideran dependientes, por lo tanto deben cumplir con una relación que se establece en la Tabla 186, para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) < 80 km/h y para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) $\geq$ 80 km/h. En la Tabla 187, se indican los valores obtenidos.

Tabla 186. Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas.

Condición	Radio de Salida
$V_{CH} \leq 80 \text{ Km/h}$	$1.5 \cdot R + 1.05 \cdot 10^{-8} \cdot (R - 250)^3 \cdot R$ $250 < R < 700$
$V_{CH} \geq 80 \text{ Km/h}$	$1.5 \cdot R + 4.693 \cdot 10^{-8} \cdot (R - 50)^3 \cdot R$ $50 < R < 300$

Tabla 187. Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m).⁹⁷

VCH < 80 Km/h			VCH ≥ 80 Km/h		
Radio de Entrada (m)	Radio de Salida (m)		Radio de Entrada (m)	Radio de Salida (m)	
	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
50	75	50	250	375	250
60	90	50	260	390	250
70	105	50	270	405	250
80	120	53	280	420	250
90	135	60	290	435	250
100	151	67	300	450	250
110	166	73	310	466	250
120	182	80	320	481	250
130	198	87	330	497	250
140	215	93	340	513	250
150	232	100	350	529	250
160	250	106	360	545	250
170	269	112	370	562	250
180	289	119	380	579	253
190	309	125	390	596	260
200	332	131	400	614	267
210	355	137	410	633	273
220	381	143	420	652	280
230	408	149	430	671	287
240	437	154	440	692	293
250	469	160	450	713	300
260	503	165	460	735	306
270	540	171	470	758	313
280	580	176	480	781	319
290	623	181	490	806	326

⁹⁷ Ibíd., p 120

300	670	186	500	832	332
310		190	510	859	338
320		195	520	887	345
330		199	530	917	351
340		204	540	948	357
350		208	550	981	363
360		212	560	1050	369
370		216	570	1051	375
380		220	580	1089	381
390		223	590	1128	386
400		227	600	1170	392
410		231	610	1214	398
420		234	620	1260	403
430		238	640	1359	414
440		241	660	1468	424
450		244	680	1588	434
460		247	700	1720	444
470		250	720		453
480		253	740		462
490	> 670	256	760		471
500		259	780		479
510		262	800		488
520		265	820		495
530		267	840		503
540		270	860		510
550		273	880		517
560		275	900	> 1720	524
570		278	920		531
580		280	940		537
590		282	960		544
600		285	980		550
610		287	1000		556
620		289	1020		561
640		294	1040		567
660		298	1060		572
680		302	1080		578
700		306	1100		583

Respecto a este parámetro, se presenta a continuación el proceso de análisis para el trayecto 5. (Ver tablas 188 -194)

Tabla 188. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-1 V_{TR} real de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	80,00	2	230,00	140.14	50	53	120	NO CUMPLE
2	230,00	3	244,41	232.14	50	149	408	CUMPLE
3	244,41	4	250,00	268.92	50	151	421	CUMPLE
4	250,00	5	250,00	411.49	60	160	469	CUMPLE
5	250,00	6	250,00	615.65	70	160	469	CUMPLE
6	250,00	7	1000,00	474.42	70	160	469	NO CUMPLE
7	1000,00	8	250,00	222.73	60	306	670	NO CUMPLE
8	250,00	9	1000,00	162.44	60	160	469	NO CUMPLE
9	1000,00	10	240,00	549.55	70	306	670	CUMPLE
10	240,00	11	250,00	125.92	70	154	437	CUMPLE
11	250,00	12	250,00	1.72	70	160	469	CUMPLE
12	250,00	13	250,00	32.15	70	160	469	CUMPLE
13	250,00	14	250,00	410.95	70	160	469	CUMPLE
14	250,00	15	250,00	26.82	70	160	469	CUMPLE
15	250,00	16	250,00	132.58	60	160	469	CUMPLE
16	250,00	17	230,00	114.97	60	160	469	CUMPLE
17	230,00	18	250,00	7.81	60	154	437	CUMPLE
18	250,00	19	250,00	28.89	60	160	469	CUMPLE
19	250,00	20	250,00	225.25	50	160	469	CUMPLE
20	250,00	21	250,00	132.96	50	160	469	CUMPLE
21	250,00	22	250,00	33.8	50	160	469	CUMPLE
22	250,00	23	250,00	153.16	50	160	469	CUMPLE
23	250,00	24	250,00	1.42	50	160	469	CUMPLE

Tabla 189. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	80,00	2	230,00	140.14	70	53	120	NO CUMPLE
2	230,00	3	244,41	232.14	70	149	408	CUMPLE
3	244,41	4	250,00	268.92	70	151	421	CUMPLE
4	250,00	5	250,00	411.49	80	250	375	CUMPLE
5	250,00	6	250,00	615.65	90	160	469	NO CUMPLE
6	250,00	7	1000,00	474.42	90	250	375	NO CUMPLE
7	1000,00	8	250,00	222.73	80	250	375	CUMPLE
8	250,00	9	1000,00	162.44	70	160	469	NO CUMPLE
9	1000,00	10	240,00	549.55	90	556	1720	CUMPLE
10	240,00	11	250,00	125.92	90	250	375	CUMPLE
11	250,00	12	250,00	1.72	70	160	469	CUMPLE
12	250,00	13	250,00	32.15	70	160	469	CUMPLE
13	250,00	14	250,00	410.95	80	250	375	CUMPLE
14	250,00	15	250,00	26.82	80	250	375	CUMPLE
15	250,00	16	250,00	132.58	70	160	469	CUMPLE
16	250,00	17	230,00	114.97	70	160	469	CUMPLE
17	230,00	18	250,00	7.81	70	154	437	CUMPLE
18	250,00	19	250,00	28.89	70	160	469	CUMPLE
19	250,00	20	250,00	225.25	70	160	469	CUMPLE
20	250,00	21	250,00	132.96	70	160	469	CUMPLE
21	250,00	22	250,00	33.8	70	160	469	CUMPLE
22	250,00	23	250,00	153.16	70	160	469	CUMPLE
23	250,00	24	250,00	1.42	70	160	469	CUMPLE

Tabla 190. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-2 V_{TR} real de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	250	2	1000	370.34	60	160	469	NO CUMPLE
2	1000	3	250	312.13	60	306	670	NO CUMPLE
3	250	4	1000	232.32	60	160	469	NO CUMPLE
4	1000	5	250	280.13	60	306	670	NO CUMPLE
5	250	6	250	355.17	60	160	469	CUMPLE
6	250	7	235	218	60	160	469	CUMPLE
7	235	8	235	351.55	60	0,00	0,00	NO CUMPLE
8	235	9	235	23.59	60	0,00	0,00	NO CUMPLE
9	235	10	235	28.25	60	0,00	0,00	NO CUMPLE
10	235	11	250	19.78	60	0,00	0,00	NO CUMPLE
11	250	12	250	59.58	60	160	469	CUMPLE
12	250	13	250	13.9	60	160	469	CUMPLE
13	250	14	250	19.69	60	160	469	CUMPLE
14	250	15	500	85.48	60	160	469	NO CUMPLE
15	500	16	500	59.15	60	259	670	CUMPLE
16	500	17	250	171.94	60	259	670	CUMPLE
17	250	18	500	129.49	60	160	469	NO CUMPLE
18	500	19	250	414.73	60	259	670	NO APLICA

Tabla 191. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	250	2	1000	370.34	80	250	375	NO CUMPLE
2	1000	3	250	312.13	80	583	1720	NO CUMPLE
3	250	4	1000	232.32	80	250	375	NO CUMPLE
4	1000	5	250	280.13	80	583	1720	NO CUMPLE
5	250	6	250	355.17	80	250	375	CUMPLE
6	250	7	235	218	80	250	375	NO CUMPLE
7	235	8	235	351.55	80	250	375	NO CUMPLE
8	235	9	235	23.59	70	250	375	NO CUMPLE
9	235	10	235	28.25	70	250	375	NO CUMPLE
10	235	11	250	19.78	70	250	375	NO CUMPLE
11	250	12	250	59.58	70	250	375	CUMPLE
12	250	13	250	13.9	70	250	375	CUMPLE
13	250	14	250	19.69	70	250	375	CUMPLE
14	250	15	500	85.48	70	250	375	NO CUMPLE
15	500	16	500	59.15	70	332	832	CUMPLE
16	500	17	250	171.94	80	332	832	NO CUMPLE
17	250	18	500	129.49	80	250	375	NO CUMPLE
18	500	19	250	414.73	70	332	832	NO APLICA

Tabla 192. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-3 V_{TR} real de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	250	2	250	196,54	60	160	469	NO CUMPLE
2	250	3	250	207,22	60	160	469	NO CUMPLE
3	250	4	250	142,56	60	160	469	NO CUMPLE
4	250	5	250	399,10	60	160	469	NO CUMPLE

Tabla 193. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T5-3 V_{TR} teórica mínima de diseño.

PI N°	Radio Entrada (m)	PI N°	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH Salida (Km/h)	Radio Mínimo Salida (m)	Radio Máximo Salida (m)	Chequeo
1	250	2	250	196,54	60	160	469	NO CUMPLE
2	250	3	250	207,22	60	160	469	NO CUMPLE
3	250	4	250	142,56	60	160	469	NO CUMPLE
4	250	5	250	399,10	60	160	469	NO CUMPLE

El termino No Aplica, se asocia a que entre las dos curvas en análisis la entretangencia existente tiene una longitud mayor a 400 m por lo cual se consideran que no son dependientes.

Una vez efectuado el análisis de relación entre radios de curvas horizontales con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros, se determina que hay porcentajes considerables de sectores que no cumplen, estableciéndose que el diseño es inadecuado respecto a este parámetro.

Tabla 194. Curvas horizontales trayecto 5 no cumplen relación entre radios de curvas contiguas.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	23	4	17,39	4	17,39
T5-2	Izquierda	17	10	58,82	12	70,59
T5-3	Derecha	4	4	100,00	4	100,00

3.3.3 Diseño vertical

3.3.3.1 Pendiente:

Pendiente mínima: “La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura y en las cunetas. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.”⁹⁸

Pendiente máxima: “La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de vía que se desea diseñar. Para vías Primarias las pendientes máximas se establecen considerando velocidades altas, entre sesenta y ciento treinta kilómetros por hora (60-130 km/h). En las vías Terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre veinte y sesenta kilómetros por hora (20-60 km/h), en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.

Para la selección de la pendiente máxima de una tangente vertical en particular, está asociada a la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}). En la Tabla 195, se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}).

⁹⁸ Ibíd., p 120

Tabla 195. Relación entre la pendiente máxima (%) y la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}).

Categoría de la Carretera	Velocidad Específica de la Tangente Vertical VTV (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de Dos Calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de Una Calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Los valores indicados en la Tabla 196, que corresponden a los valores máximos para una tangente vertical, pueden ser aumentados en dos por ciento (2%) cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa. Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el PTV de la curva anterior coincide con el PCV de la siguiente.

Para ser más explícitos, toda la longitud de la tangente vertical, de PIV a PIV, está cubierta por la rama de salida de la curva vertical anterior y por la rama de entrada de la curva vertical siguiente.⁹⁹

A continuación, se presenta el chequeo de pendiente máxima y mínima de los alineamientos verticales existentes en el diseño para un trayecto en particular:

⁹⁹ Ibíd., p 120

Tabla 196. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T5-1.

Alineamiento Horizontal N°	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	mmáx (%)	mmín (%)	Chequeo
1	-4,913	50	-	0,5	*
2	3,111	50	-	0,5	*
3	-7,000	50	-	0,5	*
4	6,230	60	8,00	0,5	CUMPLE
5	-2,838	70	7,00	0,5	CUMPLE
6	2,714	70	7,00	0,5	CUMPLE
7	6,855	60	8,00	0,5	CUMPLE
8	-6,603	70	7,00	0,5	CUMPLE
9	-1,907	70	7,00	0,5	CUMPLE
10	1,158	70	7,00	0,5	CUMPLE
11	-6,924	70	7,00	0,5	CUMPLE
12	7,295	60	8,00	0,5	CUMPLE
13	-7,000	60	8,00	1,5	CUMPLE
14	-3,688	50	-	2,5	*
15	1,000	50	-	3,5	*
16	-7,000	50	-	4,5	*
17	6,963	50	-	5,5	*

Tabla 197. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-1.

Alineamiento Horizontal N°	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	mmáx (%)	mmín (%)	Chequeo
1	-4,913	70	7,00	0,5	CUMPLE
2	3,111	70	7,00	0,5	CUMPLE
3	-7,000	70	7,00	0,5	CUMPLE
4	6,230	80	6,00	0,5	CUMPLE
5	-2,838	90	6,00	0,5	CUMPLE
6	2,714	90	6,00	0,5	CUMPLE
7	6,855	70	7,00	0,5	CUMPLE
8	-6,603	90	6,00	0,5	NO CUMPLE
9	-1,907	90	6,00	0,5	CUMPLE
10	1,158	70	7,00	0,5	CUMPLE
11	-6,924	80	6,00	0,5	NO CUMPLE
12	7,295	70	7,00	0,5	NO CUMPLE
13	-7,000	70	7,00	1,5	CUMPLE
14	-3,688	70	7,00	2,5	CUMPLE
15	1,000	70	7,00	3,5	CUMPLE
16	-7,000	70	7,00	4,5	CUMPLE
17	6,963	70	7,00	5,5	CUMPLE

Tabla 198. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T5-2.

Alineamiento Horizontal N°	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	mmáx (%)	mmín (%)	Chequeo
1	-4,41	60	8,00	0,5	CUMPLE
2	7,00	60	8,00	0,5	CUMPLE
3	-5,62	60	8,00	0,5	CUMPLE
4	-6,96	60	8,00	0,5	CUMPLE
5	5,01	60	8,00	0,5	CUMPLE
6	1,15	60	8,00	0,5	CUMPLE
7	-7,00	60	8,00	0,5	CUMPLE
8	3,01	60	8,00	0,5	CUMPLE
9	-5,59	60	8,00	0,5	CUMPLE
10	1,72	60	8,00	0,5	CUMPLE
11	6,95	60	8,00	0,5	CUMPLE

Tabla 199. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} teórica mínima de diseño T5-2.

Alineamiento Horizontal N°	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	mmáx (%)	mmín (%)	Chequeo
1	-4,41	80	6,00	0,5	CUMPLE
2	7,00	80	6,00	0,5	NO CUMPLE
3	-5,62	80	6,00	0,5	CUMPLE
4	-6,96	80	6,00	0,5	NO CUMPLE
5	5,01	80	6,00	0,5	CUMPLE
6	1,15	80	6,00	0,5	CUMPLE
7	-7,00	70	7,00	0,5	CUMPLE
8	3,01	70	7,00	0,5	CUMPLE
9	-5,59	70	7,00	0,5	CUMPLE
10	1,72	70	7,00	0,5	CUMPLE
11	6,95	80	6,00	0,5	NO CUMPLE

El análisis sobre pendiente máxima y mínima sección en perfil no se realizó para el subtrayecto T5-3 debido a que no se cuenta con la información necesaria respecto al diseño en perfil de este subtrayecto.

Una vez efectuado el análisis de pendiente máxima y mínima de la sección en perfil, se concluye que para la V_{TR} real de diseño, subtrayecto T5-1 no es posible efectuar ningún tipo de comparación respecto a valores límite, debido a que para las velocidades específicas asociadas a este V_{TR} no existe valor de pendiente máxima asociada a la categoría de la vía (en este caso principal de una calzada), el subtrayecto T5-2 presenta conformidad del 100% respecto a este parámetro. Por otro lado, para la V_{TR} teórica mínima de diseño se tiene que el diseño presenta porcentajes relativamente elevados de curvas no cumplen. (Ver tabla 200)

Tabla 200. Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen pendiente máxima y mínima.

Trayecto	Calzada	Porcentaje de Entretangencias con Pendiente Mayor a la Mínima	
		VTR Real de Diseño (50 Km/h)	VTR Teórica Mínima de Diseño
T5-1	Izquierda	*	17,65
T5-2	Izquierda	0,00	27,27

3.3.3.2 Longitud mínima y máxima de tangentes verticales:

Longitud mínima: “La longitud mínima de las tangentes verticales con Velocidad Específica menor o igual a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} \leq 40$ km/h) será equivalente a la distancia recorrida en siete segundos (7 s) a dicha velocidad, medida como proyección horizontal, de PIV a PIV. Las tangentes verticales con Velocidad Específica mayor a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} > 40$ km/h) no podrán tener una longitud menor a la distancia recorrida en diez segundos (10 s) a dicha velocidad, longitud que debe ser medida como proyección horizontal entre PIV y PIV. En la Tabla 201 se presentan los valores para diferentes Velocidades Específicas de la tangente vertical (V_{TV}). (Ver tabla 201)

Tabla 201. Longitud mínima de la tangente vertical.”¹⁰⁰

Velocidad Específica de la Tangente Vertical VTV (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Longitud Mínima de la Tangente Vertical (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

En el análisis de longitud mínima, se toma como referencia la V_{TV} de la tangente en estudio, a partir de la cual se determina si cumple o no con este parámetro, tal como se indica a continuación: (Ver tablas 202-205)

¹⁰⁰ Ibid., p 129

Tabla 202. Longitud mínima entretangencias verticales T5-1 V_{TR} real de diseño.

Entretangencia N°	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
1	110,00	50	140	NO CUMPLE
2	235,40	50	140	CUMPLE
3	1084,59	50	140	CUMPLE
4	1270,00	60	170	CUMPLE
5	500,04	70	195	CUMPLE
6	450,05	70	195	CUMPLE
7	430,00	60	170	CUMPLE
8	600,00	70	195	CUMPLE
9	810,00	70	195	CUMPLE
10	510,00	70	195	CUMPLE
11	662,50	70	195	CUMPLE
12	442,37	60	170	CUMPLE
13	1147,07	60	170	CUMPLE
14	381,51	50	140	CUMPLE
15	173,40	50	140	CUMPLE
16	827,24	50	140	CUMPLE
17	1389,25	50	140	CUMPLE

Tabla 203. Longitud mínima entretangencias verticales T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.

Entretangencia N°	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
1	110,00	70	195	NO CUMPLE
2	235,40	70	195	CUMPLE
3	1084,59	70	195	CUMPLE
4	1270,00	80	225	CUMPLE
5	500,04	90	250	CUMPLE
6	450,05	90	250	CUMPLE
7	430,00	70	195	CUMPLE
8	600,00	90	250	CUMPLE
9	810,00	90	250	CUMPLE
10	510,00	70	195	CUMPLE
11	662,50	80	225	CUMPLE
12	442,37	70	195	CUMPLE
13	1147,07	70	195	CUMPLE
14	381,51	70	195	CUMPLE
15	173,40	70	195	CUMPLE
16	827,24	70	195	CUMPLE
17	1389,25	70	195	CUMPLE

Tabla 204. Longitud mínima entretangencias verticales T5-2 V_{TR} real de diseño.

Entretangencia N°	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
1	379,06	60	170	CUMPLE
2	530,78	60	170	CUMPLE
3	867,98	60	170	CUMPLE
4	193,82	60	170	CUMPLE
5	610,00	60	170	CUMPLE
6	841,49	60	170	CUMPLE
7	520,00	60	170	CUMPLE
8	281,17	60	170	CUMPLE
9	1121,33	60	170	CUMPLE
10	677,93	60	170	CUMPLE
11	166,85	60	170	NO CUMPLE

Tabla 205. Longitud mínima entretangencias verticales T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.

Entretangencia N°	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Mínima (m)	Chequeo
1	379,06	80	225	CUMPLE
2	530,78	80	225	CUMPLE
3	867,98	80	225	CUMPLE
4	193,82	80	225	CUMPLE
5	610,00	80	225	CUMPLE
6	841,49	80	225	CUMPLE
7	520,00	70	195	CUMPLE
8	281,17	70	195	CUMPLE
9	1121,33	70	195	CUMPLE
10	677,93	70	195	CUMPLE
11	166,85	80	225	NO CUMPLE

El análisis sobre el parámetro de longitud mínima de entretangencias verticales no se realizó para el subtrayecto T5-3 debido a que no se cuenta con la información necesaria respecto al diseño en perfil de este subtrayecto.

Respecto a este parámetro, tanto para la V_{TR} real de diseño, como para la V_{TR} teórica mínima de diseño, se considera que el diseño es aceptable, debido a bajos porcentajes de entretangencias no cumplen. (Ver tabla 206)

Tabla 206. Tangentes verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	17	1	5,88	1	5,88
T5-2	Izquierda	11	1	9,09	1	9,09

Longitud máxima: En el diseño vertical, la "Longitud Crítica de una Pendiente", es un aspecto muy importante de analizarse, debido a que optimiza la funcionalidad de la carretera, previniendo el flujo vehicular lento debido al tráfico pesado, optándose en casos críticos por la construcción de carriles adicionales.

Debido a que el fundamento teórico de Longitud Crítica de una Pendiente no varía respecto al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, el análisis de este parámetro es similar al presentado en el estudio para dicho manual.

3.3.3.3 Determinación de la longitud de la curva vertical. Los criterios para la selección de la longitud de la curva vertical que a continuación se indican son aplicables para las curvas simétricas y asimétricas y son los siguientes:

Criterio de seguridad: Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (DP). Es pertinente manifestar que en algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de adelantamiento (Da).

- Curvas Convexas

“El control de la distancia de visibilidad de parada (DP) se hace mediante el parámetro K, el cual es igual a la relación L/A (distancia horizontal, en metros necesaria para tener un cambio de pendiente de uno por ciento (1%) a lo largo de la curva). Lo anterior se traduce en:

$$K_{min} = \frac{L}{A} \quad [37]$$

Y utilizando la ecuación adoptada se tiene:

$$K = \frac{Dp^2}{658} \quad [38]$$

Los valores de K_{mín} para curvas convexas se presentan en la Tabla 207 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (V_{CV}) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A \quad [39]$$

Donde A en porcentaje (%) y Lmin en metros.”¹⁰¹

- Curvas Cóncavas

“Los valores de Kmín para curvas cóncavas se presentan en la Tabla 109 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (VCV) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A \quad [40]$$

Donde A en porcentaje (%) y Lmin en metros.”¹⁰² (Ver tabla 207)

Tabla 207. Valores de Kmín para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales.

Velocidad Específica VCV (Km/h)	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Valores de Kmín				Longitud Mínima Según Criterio de Operación (m)
		Curva Convexa		Curva Concava		
		Calculado	Redondeado	Calculado	Redondeado	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.2	73.0	78

Criterio de operación: Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

- **Longitud Mínima de la curva vertical convexa según el criterio de operación**

“La aplicación de este criterio evita el cambio súbito de pendiente y permite que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia. La longitud mínima de la curva vertical para cumplir con este criterio está en función de la Velocidad Específica (V_{CV}) y es dada por la siguiente expresión:

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Ibid.

$$L_{min} = 0.6 V_{CV} \quad [41]$$

Donde:

L_{mín}: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{CV}: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h¹⁰³

- **Longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de operación**

“Se aplica el mismo criterio de las curvas convexas y por lo tanto la longitud mínima de la curva cóncava se expresa por:

$$L_{min} = 0.6 V_{CV} \quad [42]$$

Donde:

L_{mín}: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{CV}: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h¹⁰⁴

Criterio de drenaje: Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

- **Longitud máxima de la curva vertical convexa según el criterio de drenaje**

“En el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa con pendiente S1 y S2 de diferente signo se tiene un corto tramo a nivel (pendiente = 0%), que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual la AASHTO – 2004 considera que un valor de A igual a cero punto seis por ciento (0.6%) en un tramo de la curva igual a treinta metros (30 m), provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva.

$$K_{max} = \frac{30}{0.6} = 50 \quad [43]$$

¹⁰³ Ibid., p 139

¹⁰⁴ Ibid.

Para garantizar el drenaje adecuado en la cresta de la curva vertical convexa se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).¹⁰⁵

$$L_{max} = K_{max} * A \quad [44]$$

- **Longitud máxima de la curva vertical cóncava según el criterio de drenaje**

“Es necesario controlar la longitud máxima de la curva vertical cóncava para evitar el empozamiento de las aguas superficiales en la batea o punto más bajo de la curva. De acuerdo con este criterio, se debe diseñar la curva vertical cóncava con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).”¹⁰⁶

A continuación, se presenta el procedimiento de estudio y análisis de longitudes máximas y mínimas para curvas verticales según los criterios establecidos anteriormente: (Ver tabla 208)

Tabla 208. Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-1 V_{TR} real de diseño.

Curva N°	Tipo de Curva	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	VCV (Km/h)	Kmín	Longitud Mínima (m)		Longitud Máxima (m)	Longitud Existente (m)	Chequeo
							Criterio Seguridad	Criterio Operación	Criterio Drenaje		
1	Convexa	4,913	-4,913	9,83	50	7	68,78	30	491,30	110.00	CUMPLE
2	Concava	-4,913	3,111	8,02	50	13	104,26	30	401,00	130.00	CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,000	10,11	50	7	70,78	30	505,55	320.00	CUMPLE
4	Concava	-7,000	6,230	13,23	60	18	238,14	36	661,50	500.00	CUMPLE
5	Convexa	6,230	-2,838	9,07	70	17	154,16	42	453,40	300.00	CUMPLE
6	Concava	-2,838	2,714	5,55	70	23	127,65	42	277,50	140.00	CUMPLE
7	Concava	2,714	6,855	4,14	60	18	74,52	36	207,00	120.00	CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,46	70	17	228,79	42	672,90	440.00	CUMPLE
9	Concava	-6,603	-1,907	4,70	70	23	108,10	42	235,00	180.00	CUMPLE
10	Concava	-1,907	1,158	3,07	70	23	70,61	42	153,50	100.00	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,08	70	17	137,39	42	404,10	260.00	CUMPLE
12	Concava	-6,924	7,295	14,22	60	18	255,96	36	711,00	340.00	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,000	14,30	60	17	243,02	36	714,75	440.00	CUMPLE
14	Concava	-7,000	-3,688	3,31	50	13	43,03	30	165,50	90.00	CUMPLE
15	Concava	-3,688	1,000	4,69	50	13	60,97	30	234,50	120.00	CUMPLE
16	Convexa	1,000	-7,000	8,00	50	7	56,00	30	400,00	250.00	CUMPLE
17	Concava	-7,000	6,963	13,96	50	23	321,08	30	698,00	360.00	CUMPLE

¹⁰⁵ Ibid., p 139

¹⁰⁶ Ibid., p 142

Tabla 209. Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-1 V_{TR} teórica mínima de diseño.

Curva N°	Tipo de Curva	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	VCV (Km/h)	K _{mín}	Longitud Mínima (m)		Longitud Máxima (m)	Longitud Existente (m)	Chequeo
							Criterio Seguridad	Criterio Operación	Criterio Drenaje		
1	Convexa	4,913	-4,913	9,83	70	17	167,04	42	491,30	110,00	NO CUMPLE
2	Concava	-4,913	3,111	8,02	70	23	184,46	42	401,00	130,00	NO CUMPLE
3	Convexa	3,111	-7,000	10,11	70	17	171,89	42	505,55	320,00	CUMPLE
4	Concava	-7,000	6,230	13,23	80	30	396,90	48	661,50	500,00	CUMPLE
5	Convexa	6,230	-2,838	9,07	90	17	154,16	54	453,40	300,00	CUMPLE
6	Concava	-2,838	2,714	5,55	90	38	210,90	54	277,50	140,00	CUMPLE
7	Concava	2,714	6,855	4,14	80	30	124,20	48	207,00	120,00	NO CUMPLE
8	Convexa	6,855	-6,603	13,46	90	39	524,86	54	672,90	440,00	NO CUMPLE
9	Concava	-6,603	-1,907	4,70	90	38	178,60	54	235,00	180,00	NO CUMPLE
10	Concava	-1,907	1,158	3,07	70	23	70,61	42	153,50	100,00	CUMPLE
11	Convexa	1,158	-6,924	8,08	80	26	210,13	48	404,10	260,00	CUMPLE
12	Concava	-6,924	7,295	14,22	70	23	327,06	42	711,00	340,00	CUMPLE
13	Convexa	7,295	-7,000	14,30	70	17	243,02	42	714,75	440,00	CUMPLE
14	Concava	-7,000	-3,688	3,31	70	23	76,13	42	165,50	90,00	CUMPLE
15	Concava	-3,688	1,000	4,69	70	23	107,87	42	234,50	120,00	CUMPLE
16	Convexa	1,000	-7,000	8,00	70	17	136,00	42	400,00	250,00	CUMPLE
17	Concava	-7,000	6,963	13,96	70	23	321,08	42	698,00	360,00	CUMPLE

Tabla 210. Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-2 V_{TR} real de diseño.

Curva N°	Tipo de Curva	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	VCV (Km/h)	K _{mín}	Longitud Mínima (m)		Longitud Máxima (m)	Longitud Existente (m)	Chequeo
							Criterio Seguridad	Criterio Operación	Criterio Drenaje		
1	Concava	-4,410	7,000	11,41	60	18	205,38	36	570,50	290	CUMPLE
2	Convexa	7,000	-5,624	12,62	60	11	138,86	36	631,20	400	CUMPLE
3	Convexa	-5,624	-6,955	1,33	60	11	14,64	36	66,55	50	CUMPLE
4	Concava	-6,955	5,010	11,96	60	18	215,28	36	598,00	320	CUMPLE
5	Convexa	5,085	1,148	3,94	60	11	43,31	36	196,85	140	CUMPLE
6	Convexa	1,148	-7,000	8,15	60	11	89,63	36	407,40	260	CUMPLE
7	Concava	-7,000	3,047	10,05	60	18	180,90	36	502,50	260	CUMPLE
8	Convexa	3,047	-5,589	8,64	60	11	95,00	36	431,80	280	CUMPLE
9	Concava	-5,589	1,718	7,30	60	18	131,40	36	365,00	180	CUMPLE
10	Concava	1,718	6,953	5,23	60	18	94,14	36	261,50	160	CUMPLE
11	Convexa	6,953	0,490	6,46	60	11	71,09	36	323,15	250	CUMPLE

Tabla 211. Longitud mínima y máxima curvas verticales T5-2 V_{TR} teórica mínima de diseño.

Curva N°	Tipo de Curva	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia Algebraica de Pendientes (A)	VCV (Km/h)	K _{mín}	Longitud Mínima (m)		Longitud Máxima (m)	Longitud Existente (m)	Chequeo
							Criterio Seguridad	Criterio Operación	Criterio Drenaje		
1	Concava	-4,410	7,000	11,41	80	30	342,30	48	570,50	290	NO CUMPLE
2	Convexa	7,000	-5,624	12,62	80	26	328,22	48	631,20	400	CUMPLE
3	Convexa	-5,624	-6,955	1,33	80	30	39,93	48	66,55	50	CUMPLE
4	Concava	-6,955	5,010	11,96	80	26	310,96	48	598,00	320	CUMPLE
5	Convexa	5,085	1,148	3,94	80	26	102,36	48	196,85	140	CUMPLE
6	Convexa	1,148	-7,000	8,15	80	23	187,40	48	407,40	260	CUMPLE
7	Concava	-7,000	3,047	10,05	70	23	231,15	42	502,50	260	CUMPLE
8	Convexa	3,047	-5,589	8,64	70	17	146,81	42	431,80	280	CUMPLE
9	Concava	-5,589	1,718	7,30	70	23	167,90	42	365,00	180	CUMPLE
10	Concava	1,718	6,953	5,23	70	23	120,29	42	261,50	160	CUMPLE
11	Convexa	6,953	0,490	6,46	80	26	168,04	48	323,15	250	CUMPLE

Debido a que no se cuenta con la información necesaria sobre el diseño en perfil del subtrayecto T5-3, no se realizará el análisis de este parámetro en este subtrayecto.

Respecto a este parámetro, se presenta un cumplimiento del 100% para la V_{TR} real de diseño, mientras que para la V_{TR} teórica mínima de diseño se presentan porcentajes relativamente bajos de curvas no cumple. (Ver tabla 212)

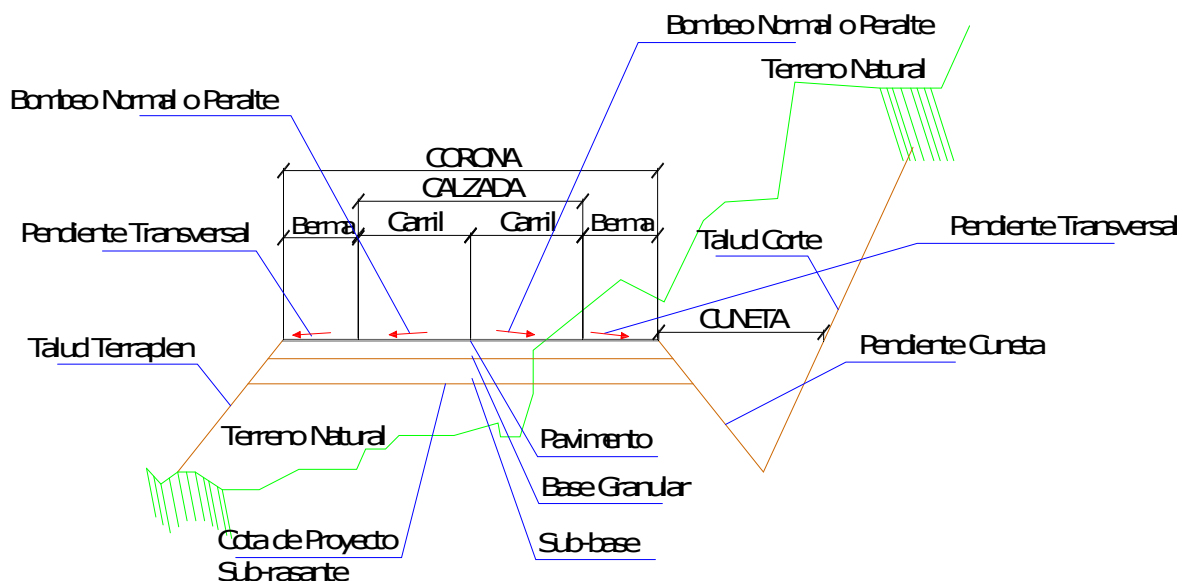
Tabla 212. Curvas verticales trayecto 5 no cumplen longitud mínima y máxima.

Trayecto	Calzada	Total Curvas Analizadas	Chequeo para VTR Real de Diseño (50 Km/h)		Chequeo para VTR Teórica Mínima de Diseño	
			Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple	Número de Curvas No Cumple	Porcentaje de Curvas No Cumple
T5-1	Izquierda	17	0	0,00	5	29,41
T5-2	Izquierda	11	0	0,00	1	9,09

3.3.4 Sección transversal:

3.3.4.1 Elementos geométricos de la sección transversal. La sección transversal describe los elementos de la carretera en un plano normal a su eje. En la Figura 3, se ilustra la sección típica según para una carretera principal de una calzada.

Figura 3. Sección transversal típica para carretera principal de una calzada¹⁰⁷



¹⁰⁷ Ibid., p 148

Ancho de zona o derecho de vía:

Debido a que el fundamento teórico para el presente análisis no presenta variación respecto al del año 1998, se determina que los resultados son similares y por lo tanto no se efectúa estudio alguno.

Corona:

“Es el conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas.”¹⁰⁸

- **Calzada**

“La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas. La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada se debe ejecutar de conformidad con las disposiciones del “Manual de Dispositivos para la regulación del Tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.”¹⁰⁹

Ancho de calzada

“En la Tabla 213 se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis metros (6 m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario.

¹⁰⁸ Ibid., p 151

¹⁰⁹ Ibid., p 147

Tabla 213. Ancho de calzada (metros).¹¹⁰

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño del Tramo Homogeneo (VTR) (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	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 214. Porcentajes de tipo de terreno - terreno predominante.

Trayecto	Calzada	Terreno Escarpado %	Terreno Montañoso %	Terreno Ondulado %	Terreno Plano %	Tipo de Terreno Predominante
T5-1	Izquierda	0,00	3,7	73,15	23,15	Ondulado
T5-2	Izquierda	0,00	5,26	77,63	17,11	Ondulado
T5-3	Derecha	0,00	100	0,00	0,00	Montañoso

Con base en el tipo de terreno predominante para cada trayecto y con la velocidad de diseño del tramo homogéneo, entrando en la Tabla 213 se determina el ancho de calzada teórico para la sección transversal de la vía. Para el presente análisis se presentan dos situaciones: la primera con base en la V_{TR} real de diseño (correspondiente a un $V_{TR} = 50$ km/h), para la cual se determina que sin importar el tipo de terreno, no hay asociada a esta velocidad un valor de ancho de calzada por lo cual este análisis no será efectuado. El segundo caso se presenta para la V_{TR} teórica mínima de diseño así: para T5-1 y T5-2 la V_{TR} correspondiente es igual a 70 km/h y para un terreno ondulado se determina que el ancho de calzada mínimo teórico es de 7.3 m; para el T5-3 al cual le corresponde un $V_{TR} = 60$ Km/h y tipo de terreno montañoso se tiene que el ancho de calzada mínimo teórico es de 7.3 m.

De lo anterior, se determina que los valores de ancho teórico de calzada que da como referencia el Manual del año 2008 son similares a los del año 1998, por lo cual los resultados del análisis anterior (Manual 1998) son aplicables al presente estudio (Manual 2008).

¹¹⁰ Ibid. ,p 151

Pendiente transversal en entretangencias horizontales:

“Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua.

En entretangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura. En la Tabla 215, se presentan los valores correspondientes.

Tabla 215. Bombeo de la calzada.”¹¹¹

Tipo de Superficie de Rodadura	Bombeo (%)
Superficie en Concreto Hidráulico o Asfáltico	2
Tratamientos Superficiales	2-3
Superficie de Tierra o Grava	2-4

Basándose de manera general en los datos de la tabla presentada anteriormente, se puede decir que es adecuado tomar un valor mínimo de bombeo igual al 2% (valor muy frecuente en proyectos de diseño geométrico); ya que de acuerdo al tipo de superficie de rodadura a emplear correspondiente a concreto asfáltico es este el valor de diseño expuesto por el manual. Por lo cual tomando un bombeo del 2%, y comparando con los diagramas de transición de peralte en tramos tangentes, se concluye que para todo el diseño del trayecto T5 (T5-1, T5-2 y T5-3) cumplen satisfactoriamente con este valor.

- Bermas

“La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad. Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.”¹¹²

¹¹¹ Ibid., p 151

¹¹² Ibid., p 152

Ancho de berma:

“El ancho de las bermas depende de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En la Tabla 216, se presenta el ancho que deben tener.

Tabla 216. Ancho de bermas.

Categoría de la 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	1.8/1.0	-	-
Primaria de Una Calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

1 Berma derecha/Berma izquierda

2 Berma cuneta

Si la carretera tiene una sola calzada, las bermas deben tener anchos iguales. En caso de corresponder a una carretera unidireccional con calzadas separadas, existirán bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior.”¹¹³

De la tabla anterior, se tiene dos situaciones: la primera para carretera primaria de una calzada y V_{TR} real de diseño igual a 50 km/h, y sin considerar el tipo de terreno, tenemos que no hay ancho de berma asociado a estas condiciones, por lo tanto no se efectúa análisis para dicha V_{TR} . La segunda situación la se encuentra para la V_{TR} teórica mínima de diseño, que para los trayectos T5-1 y T5-2 corresponde a 70 km/h, categoría de la vía primaria de una calzada y tipo de terreno ondulado, se obtiene el ancho de berma de 1.8 m. Para el trayecto T5-3 para las condiciones de $V_{TR} = 60$ km/h, terreno montañoso y categoría de la vía principal de una calzada, tenemos ancho de berma de 1.5. De lo anterior se logra determinar que los anchos mínimos teóricos de berma para el trayecto 5 no cambian respecto a los del manual año 1998, teniendo en cuenta claro que las velocidades asociadas no son iguales, pero como los anchos teóricos si lo son, no se efectúa desarrollo de este parámetro y los resultados serán tomados del análisis ya efectuado (Manual año 1998).

¹¹³ Ibid., p 153

3.4 ANALISIS DEL DISEÑO GEOMETRICO PARA CARRETERAS DEL TRAYECTO 5 REFERENCIADO A MANUALES AÑOS 1998 Y 2008. CUADRO COMPARATIVO- PORCENTUAL PRINCIPALES PARÁMETROS

Una vez efectuado el análisis del Diseño Geométrico del Trayecto 6 perteneciente a la concesión variante “RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AEROPUERTO”, se presenta un cuadro comparativo con los resultados de dichos análisis efectuados mediante los manuales de los años 1998 y 2008 en los numerales 8.2 y 8.3 respectivamente. El cuadro siguiente resume los parámetros más importantes y de los cuales se puede establecer comparación, además son los parámetros con mayor información de diseño, lo que brinda un gran margen de seguridad en su estudio y análisis. El siguiente cuadro comparativo presenta los porcentajes no cumple del elemento o parámetro objeto de análisis para la velocidad real de diseño (ya sea como $V_d = 50$ km/h para manual del año 1998 o como $V_{TR} = 50$ km/h para manual del año 2008), ya que esta se constituye en la velocidad de referencia frente al estudio y análisis desarrollado.

Para la velocidad teórica mínima de diseño cuyo estudio y análisis se efectuó paralelamente a la velocidad real de diseño, se presentó únicamente con el fin de indicar los valores con los cuales el diseño se tuvo que desarrollar y los porcentajes de cumplimiento o no con respecto al diseño presentado, pero no se establece comparación alguna debido a que son valores teóricos; se aclara que lo anterior no constituye un nuevo diseño, sino que se efectuó con fines académicos para el desarrollo del presente trabajo de grado. (Ver tabla 217)

Tabla 217. Cuadro comparativo-porcentual principales parámetros.

Parámetros Objeto de Análisis			Porcentaje No Cumple Manual Año 1998	Porcentaje No Cumple Manual Año 2008
Diseño en Planta del Eje de la Carretera	Distancia de Visibilidad de Parada DVP en Planta		0,00	0,00
	Radios Mínimos Curvas Horizontales		0,00	0,00
	Sobreechancho Curvas Horizontales		100,00	100,00
	Longitud Entretangencia Horizontal		2,08	2,08
	Relacion entre Radios de Curvas Contiguas		-	40,91
	Curvas Espirales	Longitud Circular Mínima Empalme E - C - E	6,25	10,42
		Deflexiones Límite Empalme E - E	0,00	0,00
		Longitud Espiral Le	0,00	0,00
	Peralte	Peralte Curvas Horizontales	0,00	100,00
		Longitud de Transición	11,63	11,63
		Rampa de Peralte	16,67	16,67
Diseño Vertical	Pendiente Tangente Vertical		-	-
	Longitud Mínima y Máxima Curva Vertical		0,00	0,00
	Distancia de Visibilidad de Parada DVP en Perfil		0,00	0,00
Sección Transversal	Ancho de Zona Mínimo		0,00	0,00
	Ancho de Calzada		0,00	0,00
	Ancho de Berma		26,42	26,42

En general, el diseño geométrico del trayecto 5 presenta un mayor cumplimiento respecto al manual de Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998.

Además presenta un cumplimiento del 100%, respecto a algunos parámetros como: *Distancia de visibilidad de parada DVP en planta*, *Distancia de visibilidad de parada DVP en perfil*, *Deflexiones límite empalme E-E*, *Longitud Espiral Le*, *Longitud mínima y máxima de curvas verticales* y para la sección transversal en *ancho de zona* y *ancho de calzada*, esto aplica tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

No obstante se encuentran en el diseño algunos parámetros que no se cumplen respecto a lo expuesto en los manuales en porcentajes del 100%, tal es el caso de *Sobreancho de Calzada* en curvas horizontales.

En cuanto al parámetro de *pendientes de tangentes verticales* (sección vertical) no se establecen valores comparativos debido a que para la velocidad real de diseño igual a 50 Km/h, para una vía principal de una calzada y los tipos de terrenos predominantes a lo largo del trayecto 5 (ya sea Ondulado o Montañoso), no hay valores de pendiente asociado a tales condiciones, esto aplica tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

Para el parámetro *relación entre radios de curvas horizontales contiguas*, no se establece valor porcentual de relaciones no cumplen para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 ya que en este no se encuentra contemplado como parámetro de diseño. Sin embargo se presenta el valor porcentual de relaciones no cumplen para el análisis efectuado mediante el manual del año 2008 por la importancia que reviste en el diseño.

Los parámetros restantes presentan mayor conformidad respecto al fundamento teórico-conceptual expuesto en el manual para el Diseño Geométrico de Carreteras del año 1998. Para valores de porcentajes no cumplen iguales, indican que no hay variación en cuanto al procedimiento de estudio y análisis de dicho parámetro. En general, se dirá que un diseño es totalmente adecuado si presenta conformidad del 100% respecto a todos los parámetros que intervienen en el diseño.

4. CONCLUSIONES

El proyecto: Diseño y construcción de la variante “RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AEROPUERTO” es la obra de infraestructura vial más importante que se está desarrollando en el momento en el Departamento de Nariño y traerá consigo muchos beneficios para los usuarios.

En general, el diseño geométrico del trayecto 5 presenta un mayor cumplimiento respecto al sustento teórico-conceptual de los distintos parámetros presentados en el manual del año 1998; ya que de hecho el diseño efectuado por parte de DEVINAR S.A. se hizo con base en este.

El diseño del trayecto 5, presenta un cumplimiento respecto a algunos parámetros del 100%, tal son los casos de: *Distancia de visibilidad de parada DVP en planta, Distancia de visibilidad de parada DVP en perfil, Deflexiones límite empalme E-E, Longitud Espiral L_e , Longitud mínima y máxima de curvas verticales* y para la sección transversal en *ancho de zona y ancho de calzada*, esto aplica tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

Pero también se encuentran en el diseño algunos parámetros que no se cumplen respecto a lo expuesto en los manuales en porcentajes del 100%, tal es el caso de *Sobreancho de Calzada* en curvas horizontales que se convierte en parámetro críticos del diseño del trayecto 5, lo que puede generar problemas de operación, seguridad, economía y rapidez en el proyecto, esto aplica tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

El diseño objeto del estudio y análisis se cataloga como Inadecuado bajo las condiciones que se desarrolla en cuanto a diseño y construcción de la variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”, para el trayecto 5.

A continuación se presentan conclusiones tanto para el análisis del manual de diseño Geométrico de carreteras del año 1998 como para el manual del año 2008, así:

- CONCLUSIONES ANALISIS COMPARATIVO REFERENCIADO AL MANUAL PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS AÑO 1998.

Al contrastar el valor de Velocidad de diseño V_d mínimo igual a 60 km/h, establecido en base a los parámetros señalados por el INVIAS en su manual del año 1998 y el valor de V_d igual a 50 km/h empleado por DEVINAR S.A. para este diseño, se concluye que este último valor satisface en su gran mayoría las necesidades mínimas que requiere el Diseño geométrico de este trayecto.

Para las distancias de visibilidad de parada DVP existentes en las curvas verticales convexas del trayecto 5, estudiadas con la normatividad del año 1998, para la velocidad real de diseño (50 km/h) cumplen satisfactoriamente. Mientras que para la velocidad teórica mínima de diseño estipulada de (60 km/h) se tiene un total de 14 curvas de las cuales 1 de ellas no cumple siendo esto un (7.14%) de lo que no cumplen con el criterio.

Una vez que se tiene en cuenta la clasificación de la vía se analiza las distancias de visibilidad de adelantamiento. Para curvas horizontales en consideración, medida en planos con relación a la D_a teórica mínima, establecida en la normatividad del año 1998. Para una velocidad real de diseño (50 km/h) 40 curvas de ellas, su distancia de visibilidad de adelantamiento es menor a 250 m (83.33 %) y para la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h), no cumple en casi su totalidad (45 curvas – 93.75%) lo que indica que este criterio es totalmente inadecuado. Demuestra que resulta difícil y costoso conseguir la visibilidad de adelantamiento a lo largo de todo un trazado.

Las distancias de visibilidad de parada DVP en curvas horizontales del trayecto 5, medida en planos con relación a la DVP teórica mínima, analizadas con la normatividad del año 1998 se tiene que para la velocidad real de diseño (50 Km/h), y la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h) cumplen en su totalidad con este criterio.

Teniendo en cuenta que en el trayecto 5 para su diseño geométrico se presentan 48 curvas horizontales, las cuales analizadas con la normatividad del año 1998. Para la velocidad real de diseño (50 km/h) cumple en su totalidad y para la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h) se tiene que solamente 1 de 48 curvas estudiadas cuenta con un radio de diseño menor a 120 metros para un (2.08%).

Para el diseño geométrico del trayecto 5, ninguna de las curvas horizontales presenta sobreancho. Realizado el análisis para la normatividad del año 1998 y con el criterio que el sobreancho mínimo que constructivamente es adecuado de 0.6 metros (valores correspondientes a radios no mayores a 117 Metros o salvo en curvas con ángulo de deflexión mayor a 120°) por lo tanto este criterio constructivamente No aplica sobreancho.

El criterio de la Flecha M en curvas horizontales del trayecto 5 con base en la Normatividad del año 1998, se toma como referencia para una adecuada, y correcta construcción para la puesta en marcha de la carretera; por lo que no es objeto de estudio el cumplimiento de este parámetro debido a que no se cuenta con la Información de obstáculos laterales que restrinjan la visibilidad del usuario a lo largo de su recorrido. Se debe tener en cuenta que su análisis es de gran importancia ya que está relacionado con La seguridad del operario y siempre debe

garantizar que durante los Procesos constructivos y en General durante las etapas de operación y mantenimiento la carretera esté libre de obstáculos que Limiten la visibilidad.

El Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de circular mínima al Manual del año 1998, se tiene que para la velocidad real de diseño (50 km/h) 3 curvas no cumplen (6.25%) y la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h) nuevamente 3 curvas no cumplen en su totalidad con este criterio para obtener un (6.25%).

El diseño geométrico del Trayecto 5 analizado con la normatividad del año 1998, muestra solamente 1 curva horizontal diseñada con empalme de tipo Espiral - Espiral simétrica, la cual no sobrepasa las limitaciones de deflexiones (ΔT y θ_e mayores de 20° y 10° grados respectivamente).

El Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales analizadas, para el criterio de peralte máximo referenciado al manual del año 1998, cumplen a cabalidad este criterio.

El Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 43 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de transición referenciado al Manual del año 1998, se tiene que para empalmes tipo Circular cumplen con este criterio en su totalidad; para empalmes E-C-E no cumplen 4 curvas siendo el (9.30%) y para empalmes E-E no cumple 1 curva (2.33%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales, para el criterio de rampa de peralte referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de (50 km/h) no cumplen 8 curvas para obtener un (41.74%) de curvas que no cumplen y para velocidad teórica mínima de (60 km/h) no cumplen 17 curvas para tener un (35.42%).

En el diseño geométrico del trayecto 5 con 48 entretangencias horizontales, analizadas con la normatividad del año 1998. se tiene que para la velocidad real de diseño (50 km/h), y la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h) únicamente una (1) de ellas no cumple con longitud horizontal menor a la entretangencia teórica mínima, para así tener (2.08%) que no cumple con el criterio.

El criterio de longitud mínima de pendiente del trayecto 5 con base en la normatividad del año 1998, se toma como referencia para que la velocidad no se reduzca considerablemente, ya que esto ocasiona demoras para los vehículos que viajan detrás y que podrían ir más rápido. Para evitar la formación de demoras y maniobras de adelantamiento que suponen mayor riesgo, se evaluara la

posibilidad de diseñar un segundo carril de ascenso ya que en muchos casos la longitud de la pendiente es superior a la crítica.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un total de 29 curvas verticales, para el criterio de longitud mínima referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de (50 km/h) cumple en su totalidad y para velocidad teórica mínima de (60 Km/h) solo una (1) curva no cumple para obtener un (3.45%).

Para el Diseño Geométrico del trayecto 5 se analizó un número total de 53 abscisas en sección transversal, para determinar así el criterio de ancho de zona mínimo referenciado al manual del año 1998, cumple en su totalidad con las 53 abscisas tomadas aleatoriamente, por lo cual se dice que el criterio es totalmente adecuado.

Para el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 53 abscisas Analizadas en sección transversal, para el criterio de ancho de calzada referenciado al manual del año 1998, cumplen en su (100%) de las abscisas, por lo cual el criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 53 abscisas analizadas en sección transversal, para el criterio de ancho de berma referenciado al manual del año 1998, no cumplen 14 para obtener un (26.42%) abscisas que no cumplen.

- CONCLUSIONES ANALISIS COMPARATIVO REFERENCIADO AL MANUAL PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS AÑO 2008

Al comparar el valor de V_{TR} real de diseño igual a 50 km/h, empleada por DEVINAR SA, con el valor de V_{TR} de acuerdo a los parámetros determinados por el INVIAS en su manual del año 2008 para el trayecto 5, este valor de V_{TR} (50 km/h) satisface en su mayoría las necesidades mínimas que requiere el Diseño Geométrico de este trayecto.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 14 curvas verticales analizadas, para el criterio de distancia de visibilidad de parada DVP en perfil referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) este parámetro cumple favorablemente y para V_{TR} teórica mínima de 70 km/h no cumplen un número total de 4 curvas para obtener un porcentaje de (28.57%).

Una vez que se tiene en cuenta la clasificación de la vía se analiza las distancias de visibilidad de adelantamiento D_a para curvas horizontales en consideración, medida en planos con relación a la D_a teórica mínima, establecida en la normatividad del año 2008. Para una velocidad real de diseño (50 km/h) 40 curvas

de ellas, su distancia de visibilidad de adelantamiento es menor a 250 m (83.33 %) y para la velocidad teórica mínima de diseño (60 km/h), no cumple a cabalidad (45 curvas – 93.75%) lo que indica que este criterio es totalmente inadecuado. Demuestra que resulta difícil y costoso conseguir la visibilidad de adelantamiento a lo largo de todo un trazado.

Las distancias de visibilidad de parada DVP en curvas horizontales del trayecto 5, medida en planos con relación a la DVP teórica mínima, analizadas con la normatividad del año 2008 se tiene que para la velocidad real de diseño (50 km/h), y la velocidad teórica mínima de diseño (70 km/h) cumplen en su totalidad con este criterio.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales analizadas, para el criterio de radios de curvatura mínimo referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) cumple satisfactoriamente en su totalidad, mientras que para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) presentan problemas 4 curvas (8.33%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5, ninguna de las curvas horizontales presenta sobreancho, sin embargo se efectúa el siguiente análisis con un número total de 48 curvas horizontales analizadas, para el criterio de sobreancho para vehículos rígidos referenciado al manual del año 2008, este parámetro es aplicable, pero de las cuales el 100% de curvas no cumplen.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 el análisis del parámetro Flecha M, se presenta a manera de teórico, debido a que no se puede establecer comparación con valores empleados en el diseño debido a que no se cuenta con información respecto a obstáculos laterales que limiten la visibilidad del usuario durante su recorrido.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales diseñadas con acuerdo Espiral - Circulo - Espiral, para el criterio de Longitud circular mínima referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) no cumplen 5 curvas (10.41%) y para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) no cumplen 7 curvas (14.58%).

El diseño geométrico del Trayecto 5 analizado con la normatividad del año 2008, muestra solamente 1 curva horizontal diseñada con empalme de tipo Espiral - Espiral simétrica, la cual no sobrepasa las limitaciones de deflexiones (ΔT y θ_e mayores de 20° y 10° grados respectivamente).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales analizadas, para el criterio de peralte referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) no cumplen en un (100%) mientras

que para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) no cumplen 44 curvas (91.67%), sin embargo a estos elevados porcentajes de peralte que no cumplen los valores de diseño están muy cercanos a los teóricos.

El Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 43 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de transición referenciado al Manual del año 2008, se tiene que para empalmes tipo Circular cumplen con este criterio en su totalidad; Para empalmes E-C-E no cumplen 4 curvas siendo el (9.30%) y para empalmes E-E no cumple 1 curva (2.33%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas horizontales, para el criterio de rampa de peralte referenciado al manual del año 2008, para velocidad real de diseño de (50 km/h) no cumplen 8 curvas para obtener un (41.74%) de curvas que no cumplen y para velocidad teórica mínima de (60 km/h) no cumplen 17 curvas para tener un (35.42%).

En el diseño geométrico del trayecto 5 con 48 entretangencias horizontales, analizadas con la normatividad del año 1998, se tiene que para la velocidad real de diseño (50 km/h), y la velocidad teórica mínima de diseño (70 km/h) únicamente una (1) de ellas no cumple con longitud horizontal menor a la entretangencia teórica mínima, para así tener (2.08%) que no cumple con el criterio.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 48 curvas analizadas, para el criterio de relación entre radios de curvas horizontales contiguas referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) no cumplen 18 relaciones (40.90%) y para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) no cumplen 20 relaciones (45.45%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 28 entretangencias en sección de perfil, para el criterio de pendiente en Tangentes Verticales referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) cumple en un (100%) satisfactoriamente y para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) no cumplen 6 curvas (21.43%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 para un número total de 28 entretangencias en sección de perfil, para el criterio de longitud mínima referenciado al manual del año 2008, tanto para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) como para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) únicamente no cumple una curva (7.14%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 28 curvas verticales, para el criterio de longitud máxima y mínima de curvas verticales referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de (50 km/h) cumple

a cabalidad con este criterio mientras a que para V_{TR} teórica mínima de (70 km/h) no cumplen 6 curvas (21.43%).

Para el Diseño Geométrico del trayecto 5 se analizo un número total de 53 abscisas en sección transversal, para determinar así el criterio de ancho de zona mínimo referenciado al manual del año 2008, cumple en su totalidad con las 53 abscisas tomadas aleatoriamente, por lo cual se dice que el criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 53 abscisas analizadas en sección transversal, para el criterio de ancho de calzada referenciado al manual del año 2008, cumplen en un (100%) de las abscisas, por lo cual el criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 5 con un número total de 53 abscisas analizadas en sección transversal, para el criterio de ancho de berma referenciado al manual del año 2008, no cumplen 14 para obtener un (26.42%) abscisas que no cumplen.

5. RECOMENDACIONES

Asignar velocidades a los diferentes elementos que componen el diseño geométrico para cumplir con las especificaciones impuestas, como en el caso de *Da* que presenta valores muy inadecuados por lo tanto indica que es un criterio es totalmente inadecuado. Y así este acorde con las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proyecto con base en lo expuesto por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Implantar en lo posible sobreanchos en curvas horizontales que lo requieran y cuyo valor este superior al límite establecido por la norma desde el punto de vista constructivo, para así mantener las mismas condiciones de seguridad que los tramos rectos, en cuanto al cruce de vehículos de sentido contrario.

Generar un estudio más profundo de aquellos criterios que se pueden denominar como “críticos” con base en el presente análisis, debido a que en un futuro estos pueden generar problemas de funcionalidad, operatividad y seguridad durante la circulación vehicular.

Efectuar ajustes a parámetros que lo requieran y permitan con el fin de optimizar el diseño geométrico de carreteras del trayecto 5 de la variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para presentación de trabajo. Bogotá: ICONTEC, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008.

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. 1^a ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. 2^a ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. Apuntes de Diseño Geométrico de Vías. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1990.

GUDIÑO DAVILA, Miguel Ángel. Trazado de Vías en Planta. Pasto: Universidad de Nariño, 1993.

CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2002.

BRAVO, Paulo Emilio. Trazado y Localización de Carreteras. Técnica y análisis. 4^a ed. Bogotá: Cargraphics S.A, 1994.

BRAVO, Paulo Emilio. Diseño de Carreteras. Técnicas y análisis del proyecto. 6^a ed. Bogotá: Cargraphics S.A, 1998.

GARBER, Nicholas J. y HOEL, Lester A. Ingeniería de Tránsito y de Carreteras. 3^a ed. Thomson, 2004.

ALONZO SALOMÓN, Lauro Ariel y RODRÍGUEZ RUFINO, Gabriel J. Carreteras. UADY, 2005.

CUELLAR, Enrrique. Ingeniería de carreteras, Volumen 1. Universidad de Texas. Editorial Universitaria, 1960.

CASTELLANOS NIÑO, Víctor Manuel. Ingeniería Civil. Topografía, Levantamientos de control, explanaciones, túneles y otras aplicaciones. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1994.

ANDUEZA S., Pedro José. El Diseño geométrico de carreteras. Mérida: Universidad de Los Andes, 1990.

Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas, James. "Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. México, 2000.

KRAEMER, PARDILLO, ROCCI, ROMANA, SÁNCHEZ, y Del VAL. Ingeniería de Carreteras Volumen I. España: Mc. Graw Hill, 2003.

KRAEMER, PARDILLO, ROCCI, ROMANA, SÁNCHEZ, y Del VAL. Ingeniería de Carreteras Volumen II. España: Mc. Graw Hill, 2004.

MORENO BAYONA, Juan Nicolás. Manual para Diseño de Carreteras. 1ª ed. Bucaramanga: Sic editorial Ltda, 2002.

CARCIENTE, Jacob. Estudio y Proyecto de Carreteras. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1995.

MORALES SOSA, Hugo Andrés. Ingeniería Vial I. Santo Domingo: Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 2006.

CAL Y MAYOR, Rafael; CÁRDENAS GRISALES, James. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. 7ª ed. México: Alfaomega editores, 1994 2000

LOPEZ R., Antonio. Diseño Geométrico de Carreteras con Espirales. Popayán: Universidad del Cauca 1986

PAZ., Carlos y DELGADO V., Fernando. Carreteras: Normas Para Trazado, Criterios de Diseño Geométrico. Popayán: Universidad del Cauca, 1992

HERNANDEZ CASALLAS, Fideligno. Diseño Geométrico de Vías. 1ª ed. Bogotá: Universidad La Gran Colombia, 2005.

JIMENEZ, Edgar. Diseño Geométrico de Vías. Ibagué: Universidad de Ibagué, 2004.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Efecto de la distancia de visibilidad en las maniobras de adelantamiento. Popayán, 1996.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES - LA VIALIDAD LTDA.
Criterio y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá, 1998.

ANEXOS

ANEXO A. PUNTOS CRITICOS PARA EL DISEÑO GEOMETRICO DEL TRAYECTO 5 SOBRE PLANOS.

En el presente anexo se indica los puntos críticos encontrados en el diseño con base en los principales parámetros objeto de análisis, para el trayecto 5 de la variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”

En el trabajo realizado se toma como puntos críticos aquellos que simultáneamente no cumplen varios parámetros y sobresalen, ya que la cantidad de parámetros que no cumplen con los mínimos estipulados por las normas son altos.

Para determinar en planos las curvas y entretangencias que no cumplan se realizará un cuadro de convenciones indicando los parámetros en donde se encuentren problemas en relación a la norma.

ANEXO B. REGISTRO FOTOGRAFICO TRAYECTO 5

Vista Horizontal



Empalme E-C-E K0 + 4.19 (PI N°1)

Esta curva horizontal no cumple los parámetros del manual de Diseño Geométrico de Carreteras de 1998 como: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , Radios mínimos, sobreancho. Respecto al manual del año 2008 no cumple los parámetros: Sobreancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.



Entretangencia N° 1

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.

	Empalme E-C-E K0 + 341 (PI N°2) Esta curva no cumple los siguientes parámetros: Longitud Circular mínima, sobreecho, peralte máximo.
	Entretangencia N° 2 Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
	Empalme E-E K0 + 715.08 (PI N°3) Esta curva no cumple los parámetros: Longitud de transición, rampa de peralte, sobreecho y peralte máximo.



Entretangencia N° 3

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.



Empalme E-C-E K0 + 699.21 (PI N° 5)

Presenta problemas ya que no satisface los siguientes parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , radios mínimos, sobreancho y peralte máximo.



Entretangencia N° 5

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.



Empalme E-C-E K2 + 581.5 (PI N° 6)

Esta curva horizontal no satisface los siguientes parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , rampa de peralte, radios mínimos, sobreebancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.

	Empalme E-C-E K3 + 829.25 (PI N° 8) No cumple los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.
---	---

	Entretangencia N° 8 Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
--	--



**Empalme Circular K4 + 171.95
(PI N° 9)**

La curva circular no cumple los parámetros: Sobreancho y peralte máximo.



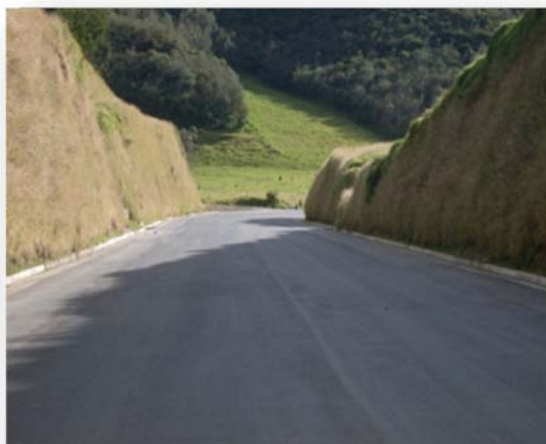
Entretangencia N° 9

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.



**Empalme E-C-E K4 + 828.44
(PI N° 10)**

La curva horizontal no cumple con los siguientes parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , sobreancho y peralte máximo.



Entretangencia N° 10

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.

	Empalme E-C-E K5 + 233.02 (PI N° 11) No cumple con los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho y peralte máximo.
---	---

	Entretangencia N° 11 Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
--	---

	Empalme E-C-E K5 + 425.64 (PI N° 12) No cumple con los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho y peralte máximo.
	Entretangencia N° 12 Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.



**Empalme E-C-E K6 + 494.20
(PI N° 15)**

Esta curva no cumple con los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , sobreancho y peralte máximo.



Entretangencia N° 15

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.



Empalme E-C-E K6 + 980.50 (PI N° 16)

Incumple los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , rampa de peralte, sobreancho y peralte máximo.



Entretangencia N° 16

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.

	Empalme E-C-E K13 + 467.30 (Tramo T5-2, PI N° 6) No cumple con los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho y peralte máximo.
	Entretangencia N° 6 (Tramo T5-2) Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.

	Empalme E-C-E K14 + 16.74 (Tramo T5-2, PI N° 7) Esta curva presenta dificultades respecto a los siguientes parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.
---	--

	Entretangencia N° 7 (Tramo T5-2) Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
--	---

	Empalme E-C-E K14 + 377.07 (Tramo T5-2, PI N° 8) Esta curva presenta dificultades respecto a los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.
---	--

	Entretangencia N° 8 (Tramo T5-2) Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
--	---



**Empalme Circular K16 + 819.25
(Tramo T5-2, PI N° 16)**

Esta curva no cumple los parámetros siguientes: Distancia de visibilidad de adelantamiento Da, sobreancho, peralte máximo.



**Entretangencia N° 16
(Tramo T5-2)**

La entretangencia N° 16 no se encuentra dentro de los límites de entretangencia mínima y máxima teórica.



**Empalme Circular K18 + 138.44
(Tramo T5-2, PI N° 19)**

La curva circular incumple los parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a , sobreechancho y peralte máximo.



**Entretangencia N° 19
(Tramo T5-2)**

Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.

	Empalme E-C-E K0 + 416.18 2 (Tramo T5-3, PI N° 2) No cumple los siguientes parámetros: Distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, sobreancho, peralte máximo y Relación de Radios de Curvas Horizontales Contiguas.
---	--

	Entretangencia N° 2 (Tramo T5-3) Se encuentra dentro del rango de entretangencia teórica mínima y entretangencia teórica máxima.
--	---

Registro Fotográfico Aéreo

Tramo T5-1 Sector Botanilla



Tramo T5-2 Sector Aranda



Tramo T5-2 Abscisa PR 18+400 Sector inicio tunel



Tramo T5-1 Sector la Merced



Tramo T5-1 Sector Catambuco



Tramo T5-2 Sector Aranda



Tramo T5-1 Sector Botanilla



Tramo T5-2 Sector Aranda

