ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO REFERENCIADO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE

CRISTIAM CAMILO LÓPEZ PABÓN
DIEGO FERNANDO TRUJILLO PORTILLA

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

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO REFERENCIADO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE

CRISTIAN CAMILO LÓPEZ PABON
DIEGO FERNANDO TRUJILLO PORTILLA

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

Director:
MSc. 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 1ro 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, 25 de Octubre de 2011

DEDICATORIA

Al culminar una etapa en nuestra vida, siempre hay personas importantes y valiosas que con su apoyo y sus consejos son punto de apoyo para la consecución de grandes metas, con la gran satisfacción de haber dado lo mejor y siempre estar acompañados.

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

A mi madre Myriam que con su amor, cariño, ternura y apoyo incondicional da sentido al diario vivir e impulsa el deseo por alcanzar metas grandes en mi vida.

A mi padre Carlos que con su amor, disciplina y consejos hace realidad el alcanzar muchas metas que sin su apoyo serian más difíciles.

A mis hermanas Susana y Cristina quienes con su apoyo, alegría y compañía hacen más agradable la vida, al poder compartir momentos con personas tan especiales.

En general, a todas las personas que contribuyeron a llegar a este punto con la plena satisfacción de siempre haber dado lo mejor.

CRISTIAM CAMILO LÓPEZ PABÓN

DEDICATORIA

El alcanzar una meta siempre es satisfactorio, más aún cuando se ha llegado acompañado de personas importantes en la vida.

A Dios todo poderoso por brindarme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa.

A mi madre Carmela Portilla por su infinito amor, apoyo y confianza que se constituye en la base de mí ser y persona.

A mis familiares y amigos que con su apoyo hacen realidad el culminar otra etapa más en la vida con la gran satisfacción de haber dado siempre lo mejor.

DIEGO FERNANDO TRUJILLO PORTILLA

AGRADECIMIENTOS

A la universidad de Nariño, Alma Mater y centro de conocimiento, por permitir formarnos profesionalmente en la rama de la Ingeniería Civil.

Al Ing. Jorge Luis Argoty Burbano, Director, por brindarnos la oportunidad de trabajar en el presente proyecto, guiarnos respecto al desarrollo teórico y conceptual, por su valioso tiempo aportado y las diferentes herramientas que como docente del área de Vías y Transporte nos aportó durante nuestra formación profesional.

A los Ingenieros Miguel Ángel Gudiño y Armando Muñoz David quienes con sus sugerencias y recomendaciones respecto a la formulación del proyecto dieron claridad referente al camino a seguir para desarrollar un trabajo exitoso.

A los docentes que compartieron sus enseñanzas y conocimientos para poder alcanzar objetivos cada vez más grandes.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 22
1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL 30
1.1 GENERALIDADES 30
1.2 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 1998 - INVIAS 31
1.2.1 Criterios de diseño: 31
1.2.2 Alineamiento horizontal. 32
1.2.3 Alineamiento vertical. 34
1.2.4 Curvas verticales. 34
1.2.5 Sección transversal. 35
1.3 CONCEPTOS DEL MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2008– INVIAS 36
1.3.1 Controles para el diseño geométrico: 36
1.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera. 38
1.3.3 Diseño en perfil del eje de la carretera. 40
1.3.4 Diseño de la sección transversal de la carretera. 41
2. DESARROLLO DEL TRABAJO 43
2.1 GENERALIDADES 43
2.1.1 Localización y descripción del trayecto 6. 43
2.1.2 Alineamiento horizontal: 43
2.1.2.1 Descripción curvas horizontales. 43
2.1.3 Alineamiento vertical: 48
2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998 51
2.2.1 Controles para el diseño geométrico 51

2.2.2 Diseño en planta del eje de la carretera....66
2.2.3 Diseño vertical. 88
2.2.4 Sección transversal. 95
2.2.5 Resumen de resultados: 104
2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008....105
2.3.1 Controles para el diseño geométrico:....105
2.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera:....123
2.3.3 Diseño vertical:....145
2.3.4 Sección transversal:....153
2.3.5 Resumen de resultados: 157
2.4 ANALISIS DEL DISEÑO GEOMETRICO PARA CARRETERAS DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO A MANUALES AÑOS 1998 Y 2008. CUADRO COMPARATIVO- PORCENTUAL PRINCIPALES PARAMETROS....158
3. CONCLUSIONES....161
4. RECOMENDACIONES 169
BIBLIOGRAFÍA....170
ANEXOS....171

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Descripción trayecto 6 43
Tabla 2. Descripción curvas horizontales T6-1 calzada derecha..... 44
Tabla 3. Descripción curvas horizontales T6-1 calzada izquierda 44
Tabla 4. Descripción curvas horizontales T6-2 calzada derecha..... 45
Tabla 5. Descripción curvas horizontales T6-2 calzada izquierda 45
Tabla 6. Descripción curvas horizontales T6-4 calzada derecha..... 45
Tabla 7. Descripción entretangencias horizontales T6-1 calzada derecha..... 46
Tabla 8. Descripción entretangencias horizontales T6-1 calzada izquierda 46
Tabla 9. Descripción entretangencias horizontales T6-2 calzada derecha..... 47
Tabla 10. Descripción entretangencias horizontales T6-2 calzada izquierda 47
Tabla 11. Descripción entretangencias horizontales T6-4 calzada derecha..... 47
Tabla 12. Descripción curvas verticales T6-1 calzada derecha..... 48
Tabla 13. Descripción curvas verticales T6-1 calzada izquierda 48
Tabla 14. Descripción curvas verticales T6-2 calzada derecha..... 48
Tabla 15. Descripción curvas verticales T6-2 calzada izquierda 49
Tabla 16. Descripción curvas verticales T6-4 calzada derecha..... 49
Tabla 17. Descripción curvas verticales T6-1 calzada derecha..... 49
Tabla 18. Descripción curvas verticales T6-1 calzada izquierda 50
Tabla 19. Descripción curvas verticales T6-2 calzada derecha..... 50
Tabla 20. Descripción curvas verticales T6-2 calzada izquierda 50
Tabla 21. Descripción curvas verticales T6-4 calzada derecha..... 50
Tabla 22. Tipo de terreno..... 52
Tabla 23. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-1 calzada derecha..... 53
Tabla 24. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-1 calzada izquierda 54
Tabla 25. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-2 calzada derecha..... 56
Tabla 26. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-2 calzada izquierda 57
Tabla 27. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-4.calzada derecha..... 58
Tabla 28. Porcentajes de tipo de terreno _ terreno predominante..... 58
Tabla 29. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno. 59

Tabla 30. Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos. 60
Tabla 31. Distancia de visibilidad de parada en perfil T6 - 1 calzada derecha (VD real de diseño) 62
Tabla 32. Curvas verticales convexas trayecto 6 no cumplen DVP mínima 62
Tabla 33. Distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente 0% 64
Tabla 34. Distancia de visibilidad de parada en planta T6 - 2 calzada izquierda (VD real de diseño) 65
Tabla 35. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen DVP mínima 65
Tabla 36. Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de velocidad especifica 67
Tabla 37. Chequeo radios mínimos absolutos T6-1 calzada derecha 68
Tabla 38. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen radio mínimo 68
Tabla 39. Chequeo sobreancho curvas horizontales T6-1 calzada derecha 70
Tabla 40. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen sobreancho mínimo y sobreanchos que constructivamente no aplica 71
Tabla 41. Chequeo flecha M curvas horizontales T6_1 calzada derecha 72
Tabla 42. Chequeo longitud circular mínima T6 – 1 calzada derecha 74
Tabla 43. Curvas horizontales con empalme E-C-E trayecto 6 no cumplen longitud circular mínima 74
Tabla 44. Chequeo deflexión ∆T y ángulo θe T6 – 1 calzada derecha 75
Tabla 45. Curvas horizontales con empalme E-E trayecto 6 no cumplen con deflexiones máximas 75
Tabla 46. Chequeo longitud espiral lemín y lemáx (velocidad real de diseño) T6 – 1 calzada derecha 77
Tabla 47. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de espiral Le ... 78
Tabla 48. Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T6 - 1 calzada derecha 80
Tabla 49. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen peralte asociado a velocidad específica 81
Tabla 50. Longitud de transición T6 - 1 calzada derecha 83
Tabla 51. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de transición 84
Tabla 52. Rampa de peralte T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño) 85
Tabla 53. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen rampa de peralte 86
Tabla 54. Longitud entretangencia horizontal T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño) 87
Tabla 55. Longitud entretangencias horizontales trayecto 6 no cumplen 88
Tabla 56. Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño" 89
Tabla 57. Pendiente diseño vertical T6-1 calzada derecha 90
Tabla 58. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen pendiente 90

Tabla 59. Longitud mínima curvas verticales T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño) 94
Tabla 60. Curvas verticales trayecto 6 no cumplen longitud mínima 94
Tabla 61. Anchos de zona mínimos.” 96
Tabla 62. Ancho de zona sección transversal T6-1 calzada derecha 96
Tabla 63. Sección transversal trayecto 6 no cumplen ancho de zona 97
Tabla 64. Bombeo de la calzada” 98
Tabla 65. Ancho recomendado para calzada” 99
Tabla 66. Ancho de calzada teórico trayecto 6 100
Tabla 67. Ancho de calzada entretangencias T6-1 calzada derecha 100
Tabla 68. Ancho recomendado para bermas” 101
Tabla 69. Ancho de berma teórico trayecto 6 102
Tabla 70. Ancho de berma sección transversal T6-1 calzada derecha 103
Tabla 71. Cuadro resumen parámetros analizados manual para el diseño geométrico de carreteras año 1998 104
Tabla 72. 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” 106
Tabla 73. Asignación de velocidad por tramos homogéneos (trayecto 6) 107
Tabla 74. Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} real de diseño . 107
Tabla 75. Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} teórica mínima de diseño 107
Tabla 76. Velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño (V_{TR})” 110
Tabla 77. Diferencia entre la velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en km/h” 111
Tabla 78. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha 112
Tabla 79. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha . 113
Tabla 80. Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T6_1 calzada derecha . 114
Tabla 81. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T6_1 calzada derecha 115
Tabla 82. Principales características del vehículo de diseño 116
Tabla 83. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T6 - 1 calzada derecha 119
Tabla 84. Curvas verticales convexas trayecto 6 no cumplen Dp mínima 120
Tabla 85. Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel 121
Tabla 86. Chequeo Dp curvas horizontales T6 – 1 V_{TR} = 50 Km/h 122
Tabla 87. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen Dp mínima 123

Tabla 88. Radios mínimos para peralte máximo emáx = 8 % y fricción máxima” 124
Tabla 89. Chequeo radios mínimos T6-1 calzada derecha..... 125
Tabla 90. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen radio de curvatura mínimo 126
Tabla 91. Variación de la aceleración centrífuga (J)”..... 126
Tabla 92. Chequeo longitud espiral le mín. y le máx. VTR real de diseño T6_1 calzada derecha 127
Tabla 93. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud espiral le mín. y le máx..... 128
Tabla 94. Valor de C en función del ancho de la calzada..... 129
Tabla 95. Dimensiones vehículo articulado para sobreancho de calzada” 130
Tabla 96. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T6_1 calzada derecha 131
Tabla 97. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen sobreancho mínimo vehículos articulados 132
Tabla 98. Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T6_1 calzada derecha 133
Tabla 99. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud circular mínima 134
Tabla 100. Radios mínimos para peralte máximo emáx = 8 % y fricción máxima” 136
Tabla 101. Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha 137
Tabla 102. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen peralte 138
Tabla 103. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes 138
Tabla 104. Chequeo rampa de peralte V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha..... 139
Tabla 105. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen rampa de peralte 140
Tabla 106. Chequeo longitud de entretangencia horizontal V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha 141
Tabla 107. Entretangencias horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de entretangencia 142
Tabla 108. Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas 142
Tabla 109. Relación entre radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)” 142
Tabla 110. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T6-1 calzada derecha..... 144

Tabla 111. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen relación entre radios de curvas contiguas 145
Tabla 112. Relación entre la pendiente máxima (%) y la velocidad específica de la tangente vertical (VTV) 146
Tabla 113. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha 146
Tabla 114. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen pendiente máxima y mínima 147
Tabla 115. Longitud mínima de la tangente vertical" 147
Tabla 116. Longitud mínima entretangencias verticales T6 - 1 calzada derecha V_{TR} real de diseño 148
Tabla 117. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen longitud mínima 148
Tabla 118. Valores de Kmín para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales 150
Tabla 119. Longitud mínima y máxima curvas verticales T6 - 1 calzada derecha 152
Tabla 120. Curvas verticales trayecto 6 no cumplen longitud máxima y mínima 153
Tabla 121. Ancho de calzada (metros)" 154
Tabla 122. Porcentajes de tipo de terreno _ terreno predominante 154
Tabla 123. Bombeo de la calzada" 155
Tabla 124. Ancho de bermas 156
Tabla 125. Cuadro resumen parámetros analizados manual para el diseño geométrico de carreteras año 2008 157
Tabla 126. Cuadro comparativo-porcentual principales parámetros 159

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Sección transversal típica. 35
Figura 2. Sección transversal típica.” 95
Figura 3. Sección transversal típica para carretera principal de dos calzadas” ...153

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Longitudes y parámetros mínimos curvas verticales convexas 93
Gráfica 2. Longitudes y parámetros mínimos curvas verticales concavas 93

LISTA DE IMÁGENES

pág.

Imagen 1. PI No. 12 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma 175
Imagen 2. PI No. 12 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 175
Imagen 3. PI No. 15 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma 176
Imagen 4. PI No. 15 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 176
Imagen 5. PI No. 16 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma 177
Imagen 6. PI No. 16 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma 177
Imagen 7. PI No. 3 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 178
Imagen 8. PI No. 3 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 178
Imagen 9. PI No. 5 T6_2 calzada izquierda entrada, no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma 179
Imagen 10. PI No. 5 T6_2 calzada izquierda salida, no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 179
Imagen 11. PI No. 15 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma 180

Imagen 12. PI No. 15 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 180
Imagen 13. PI No. 19 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 181
Imagen 14. PI No. 19 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma..... 181
Imagen 15. PI No. 22 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma..... 182
Imagen 16. PI No. 22 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma..... 182
Imagen 17. PI No. 25 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho y ancho de berma..... 183
Imagen 18. PI No. 25 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho y ancho de berma..... 183
Imagen 19. Entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda, no cumple longitud de entretangencia..... 184
Imagen 20. Curva 1 (Entrada) entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda 184
Imagen 21. Curva 2 (Salida) entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda..... 185
Imagen 22. Medida en campo ancho de berma..... 186
Imagen 23. Medida en campo ancho de calzada..... 186
Imagen 24. Verificación de los elementos que constituyen la sección transversal..... 187

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A. PLANOS – TABLA PUNTOS/SECTORES CRÍTICOS PARA MANUAL AÑO 1998 172

ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO PUNTOS CRÍTICOS. 174

ANEXO C. INFORMACIÓN DE ANÁLISIS COMPLETO PARA DIFERENTES PARÁMETROS, MANUALES DE REFERENCIA, PLANOS EN MEDIO ELECTRÓNICO 188

RESUMEN

Actualmente 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 múltiples beneficios al departamento, con el presente trabajo se efectúa un análisis a nivel comparativo del Diseño presentado por DEVINAR SA del trayecto 6 , 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 6, esto para cada parámetro objeto de análisis, al finalizar se presentan algunas conclusiones y recomendaciones, al igual que tablas estadísticas comparativas 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

At the moment, in department of Nariño, one of the most important projects is the alternate route “RUMICHACA - PASTO - CHACHAGÜI - AIRPORT”, which comes accompanied with multiple benefits to the department. With the present project a comparative analysis takes place between designs presented/displayed by DEVINAR SA of route 6, based in the manual of 1998 and the design that could have carried out with base in the actual standardization (year 2008), conclusions and some recommendations are generated in this analysis related to the presented design, but this is not an optional design, since the developed analysis takes place with base in important parameters that characterize the design and of which the analysis is supported with sufficient information.

This project is written during the development, summarizing and describing the theoretical foundation, accompanied by the analysis procedure for one of the alternate routes in the study that constitute route 6, this for each parameter during the analysis, at the end some conclusions and recommendations will be presented, as well as comparative statistical tables of the most important parameters and important points of the design are indicated on the planes attached. This procedure takes place for the actual speed of design (speed with which the design was carried out) as for minimum theoretical speed of design (speed that by conditions under which the project is developed and must have been chosen based in the Geometric Design of Highways Manual).

INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico, constituye la etapa de mayor importancia en el proyecto de una carretera y 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 al usuario seguridad, comodidad, economía y eficiencia.

En este trabajo de Investigación aplicada, se realizará un análisis comparativo del diseño geométrico del **"TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO"** propuesto por 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. se realizó en agosto de 2010 basado en el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras del año 1998 del INVIAS.

Por último, dependiendo de las inconsistencias que se identifiquen referentes a la normatividad vigente del Diseño Geométrico de Carreteras se planteará recomendaciones y sugerencias en los sectores que así lo requieran.

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Título

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO REFERENCIADO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE"

Alcance y delimitación

En el presente *trabajo de grado*, denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO" se estudiará y analizará el diseño geométrico y no abarca al corredor de ruta donde se encuentra dicho trazado. Ya que no se tiene disponible información como es la parte de 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.

Este trabajo, se limitará al 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

Teniendo en cuenta la información de la que se dispone, esta investigación aplicada no comprenderá:

- *Verificación del ángulo de inclinación y/o la estabilidad de taludes.*
- *Diseño y/o verificación de la estructura de pavimento.*
- *Elaboración de un trazado nuevo de la vía*
- *Verificación y diseño de obras de drenaje.*
- *Verificación y diseño de 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

El proyecto "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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 y ejecutar dicha vía.

Teniendo en cuenta que la "CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO", realizó los diseños geométricos del "TRAMO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4)" 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_4).

Objetivos específicos

- Revisar el cumplimiento de los parámetros para diseño geométrico horizontal del TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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.

- Elaborar, presentar y sustentar técnicamente, en forma ordenada y coherente los aspectos básicos e indispensables obtenidos a partir del análisis comparativo del proyecto en planta, perfil y sección transversal de la vía 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 cercanas, obliga a generar un estudio objetivo y completo sobre la estructura vial existente, que conlleve a una modernización de esta 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 se encuentran 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 y más exactamente en nuestra región, se encuentra regido por el manual expedido por el INVIAS. Este ha sufrido variaciones en los últimos años que han conllevado 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 nuestro 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 y la comodidad dentro de los parámetros geométricos que presente la vía, como lo es el caso de las curvas con radio de giro muy pequeñas y entretangencias muy cortas. Lo cual se reflejaría en una menor accidentabilidad y mayor economía.

En fin, el problema que se está planteando hoy en día en las ciudades es el transito 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 profundicemos un estudio en ella con el fin de poder determinar que lo planteado en estas conllevan a generar diseños apropiados en

este caso para las condiciones locales de Pasto. Para finalizar, 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, aún más que el que representa hoy en día.

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.

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, escalimetros, planos del diseño presentado en formato .DWG, entre otras herramientas básicas para aplicación de criterios de diseño geométrico.

Básicamente el presente 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 desarrollará el análisis de variaciones producidas dentro del Manual de Diseño tanto en el año 1998 como 2008, enfatizándonos en los criterios y controles de diseño geométrico, como lo son: velocidad de diseño,

radios de curvas, peralte, entretangencias y en general todos aquellos aspectos 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_3) Concesión Variante Rumichaca – Pasto – Chachagüi – Aeropuerto"*

Se desarrollara análisis comparativo del diseño geométrico en planta de acuerdo con 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_3) Concesión Variante Rumichaca – Pasto – Chachagüi – Aeropuerto"*

Se desarrollará 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_3) Concesión Variante Rumichaca – Pasto – Chachagüi – Aeropuerto"*

Se desarrollara 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 el presente 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 generara 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 6 (T6_1, T6_2 y T6_3) Concesión Variante Rumichaca – Pasto – Chachagüi – Aeropuerto"*

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

RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar este trabajo se espera obtener un informe de análisis a nivel comparativo del **TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) 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 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.

1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

1.1 GENERALIDADES

Diseño Geométrico de Carreteras. Según Chocontá 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
- ✓ Reductores de velocidad
- ✓ Obras de seguridad vial y vallas informativas
- ✓ 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

1.2 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]

1.2.1 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, especifica, 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 le 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] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, Pp. 4 - 6

[4] Ibíd., 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, deberá 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].

1.2.2 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 curvos

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]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.49

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."[6].

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."[7].

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:

- 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

[6]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.62 - 65
[7]Ibíd., p. 78

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."[8]

1.2.3 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."[9]

1.2.4. 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

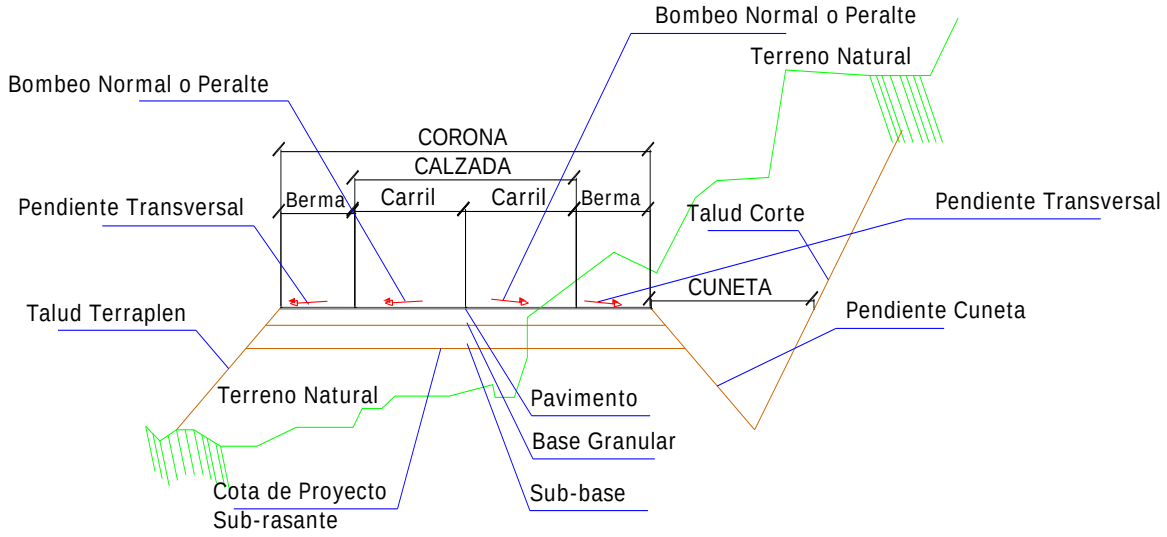
[8]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.79 - 80
[9]Ibíd., p.107

resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas"[10]

1.2.5 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."[11]

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 en la figura 1.

Figura 1. Sección transversal típica.[12]



"**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

[10]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.112
[11]Ibíd., p. 124
[12]Ibíd., p.124

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."[13]

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

1.3.1 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 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:

1) 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).

2) La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

[13]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998,p.147

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."[14]

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 diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora (V_{TR} + 20 km/h)."[15]

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 nuestro medio Colombiano, tenemos vehículos *livianos y pesados* con menos de 5 Ton de capacidad y con más de 5 Ton de capacidad respectivamente.

[14]INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 37
[15]Ibíd., p. 39

"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 sobreanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados)."[16]

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".[17]

En el Diseño Geométrico de Carreteras, se deberá 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)*

1.3.2 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.

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."[18]

[16]INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 50
[17]Ibíd., p. 51
[18]I Ibíd., p. 73

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 – circulo – 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 (V_{CH}), el Radio de curvatura (R_C) 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 (fT), 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:

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

"[19]

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 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."[20]

Entretangencia horizontal:

"Entretangencia mínima

- **Para curvas de distinto Sentido**

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

[19] Ibíd., p. 102 - 103
[20] Ibíd., p. 108

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."[21]

1.3.3 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."[22]

[21] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 119 - 120
[22] Ibíd., p. 127

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."[23]

1.3.4 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."

- 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.

[23] ibíd., p. 127

- 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 sicológicamente 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."[24]

- "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.

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"[25]

[24] Ibíd., p. 161
[25] Ibíd., p. 161

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Localización y descripción del trayecto 6. El Trayecto 6, hace parte de la DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO y consta de los subtrayectos T6-1, T6-2, T6-3 y T6-4, inicia en Daza y finaliza en el Aeropuerto Antonio Nariño. Los T6-1, T6-2 presentan diseño para sus calzadas derecha e izquierda mientras que el T6-4 únicamente para su calzada derecha y para el T6-3 no existe diseño. A continuación se detalla cada trayecto con su respectiva delimitación. (ver tabla 1)

Tabla 1. Descripción trayecto 6

Trayecto	Calzada	Inicio		Terminación	
		Abscisa	Localidad	Abscisa	Localidad
T6-1	Derecha	*PR0 + 000*	DAZA	*PR6 + 680*	RIO BERMUDEZ
	Izquierda	*PR0 + 000*		*PR6 + 720*	
T6-2	Derecha	*PR6 + 680*	RIO BERMUDEZ	*PR10 + 640*	CHACHAGÜI
	Izquierda	*PR6 + 720*		*PR10 + 640*	
T6-4	Derecha	*PR14 + 680*	CHACHAGÜI	*PR16+ + 920*	AEROPUERTO ANTONIO NARIÑO

2.1.2 Alineamiento horizontal:

2.1.2.1 Descripción curvas horizontales. Cabe resaltar que el diseño de los trayectos T6-1, T6-2 y T6-4 lo conforman en su mayoría curvas espirales con empalme tipo Espiral – Círculo – Espiral y tan solo unas pocas son de tipo Espiral – Espiral.

A continuación, se presentan cuadros resumen indicando las abscisas de inicio y terminación de cada curva horizontal, al igual que el tipo de empalme correspondiente, para cada trayecto del proyecto en estudio: (ver tablas 2-6)

Tabla 2. Descripción curvas horizontales T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	E-C-E Asim	PR0 + 36.88	PR0 + 222.00	16	E-C-E Asim	PR2 + 913.14	PR3 + 28.31
2	E-C-E Asim	PR0 + 222.00	PR0 + 379.38	17	E-C-E Sim	PR3 + 96.16	PR3 + 235.61
3	E-C-E Sim	PR0 + 412.89	PR0 + 532.02	18	E-C-E Sim	PR3 + 380.92	PR3 + 493.45
4	E-E Sim	PR0 + 532.68	PR0 + 612.68	19	E-C-E Sim	PR3 + 704.24	PR3 + 834.20
5	E-C-E Asim	PR0 + 658.34	PR0 + 750.71	20	E-E Sim	PR3 + 873.93	PR3 + 973.93
6	E-C-E Asim	PR0 + 750.71	PR0 + 897.16	21	E-E Sim	PR4 + 2.53	PR4 + 102.53
7	E-C-E Asim	PR0 + 897.16	PR1 + 42.66	22	E-C-E Sim	PR4 + 640.02	PR4 + 825.19
8	E-E Sim	PR1 + 169.87	PR1 + 329.87	23	E-C-E Sim	PR4 + 885.47	PR5 + 13.48
9	E-C-E Asim	PR1 + 416.65	PR1 + 556.34	24	E-C-E Sim	PR5 + 292.74	PR5 + 372.69
10	E-C-E Asim	PR1 + 556.34	PR1 + 830.57	25	E-E Sim	PR5 + 406.65	PR5 + 496.65
11	E-C-E Sim	PR1 + 870.54	PR2 + 188.16	26	E-E Sim	PR5 + 500.20	PR5 + 590.20
12	E-C-E Sim	PR2 + 236.89	PR2 + 369.31	27	E-C-E Asim	PR5 + 610.78	PR5 + 758.26
13	E-C-E Sim	PR2 + 440.79	PR2 + 506.80	28	E-C-E Asim	PR5 + 921.55	PR6 + 192.06
14	E-C-E Sim	PR2 + 577.63	PR2 + 661.30	29	E-C-E Asim	PR6 + 192.06	PR6 + 370.94
15	E-C-E Asim	PR2 + 793.44	PR2 + 913.04				

Tabla 3. Descripción curvas horizontales T6-1 calzada izquierda

PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	E-C-E Asim	PR0 + 102.90	PR0 + 269.92	16	E-C-E Asim	PR2 + 948.48	PR3 + 66.24
2	E-C-E Asim	PR0 + 269.92	PR0 + 424.50	17	E-C-E Sim	PR3 + 132.76	PR3 + 272.20
3	E-C-E Asim	PR0 + 471.63	PR0 + 585.87	18	E-C-E Sim	PR3 + 419.73	PR3 + 532.26
4	E-C-E Sim	PR0 + 586.53	PR0 + 653.73	19	E-C-E Asim	PR3 + 738.78	PR3 + 874.67
5	E-C-E Asim	PR0 + 705.89	PR0 + 798.60	20	E-E Sim	PR3 + 906.75	PR4 + 14.25
6	E-C-E Asim	PR0 + 798.60	PR0 + 946.65	21	E-E Sim	PR4 + 34.55	PR4 + 144.55
7	E-C-E Asim	PR0 + 946.65	PR1 + 93.34	22	E-E Sim	PR4 + 436.75	PR4 + 526.75
8	E-E Sim	PR1 + 215.74	PR1 + 375.74	23	E-E Sim	PR4 + 568.88	PR4 + 702.63
9	E-C-E Asim	PR1 + 473.69	PR1 + 614.34	24	E-C-E Sim	PR4 + 932.05	PR5 + 60.06
10	E-C-E Asim	PR1 + 614.34	PR1 + 904.49	25	E-C-E Sim	PR5 + 326.63	PR5 + 405.54
11	E-C-E Sim	PR1 + 944.67	PR2 + 251.99	26	E-E Sim	PR5 + 443.66	PR5 + 533.66
12	E-C-E Asim	PR2 + 296.42	PR2 + 406.04	27	E-E Sim	PR5 + 536.95	PR5 + 626.95
13	E-E Sim	PR2 + 479.20	PR2 + 549.20	28	E-C-E Sim	PR5 + 645.30	PR5 + 801.11
14	E-C-E Sim	PR2 + 648.18	PR2 + 752.16	29	E-C-E Asim	PR5 + 959.43	PR6 + 235.29
15	E-C-E Asim	PR2 + 835.67	PR2 + 944.96	30	E-C-E Asim	PR6 + 235.29	PR6 + 423.80

Tabla 4. Descripción curvas horizontales T6-2 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	E-C-E Sim	PR6 + 678,56	PR6 + 795,59	14	E-C-E Asim	-	PR8 + 699,47
2	E-E Sim	PR6 + 847,65	PR6 + 937,65	15	E-C-E Asim	PR8 + 699,47	PR8 + 842,92
3	E-C-E Sim	PR6 + 977,97	PR7 + 124,15	16	E-C-E Asim	PR8 + 842,92	PR8 + 986,85
4	E-C-E Asim	PR7 + 175,70	PR7 + 287,89	17	E-C-E Asim	PR8 + 986,85	PR9 + 163,06
5	E-C-E Asim	PR7 + 287,89	PR7 + 374,84	18	E-C-E Asim	PR9 + 283,41	PR9 + 472,09
6	E-E Sim	PR7 + 488,65	PR7 + 576,17	19	E-C-E Asim	PR9 + 472,09	PR9 + 617,61
7	E-C-E Asim	PR7 + 576,17	PR7 + 723,01	20	E-C-E Asim	PR9 + 617,61	PR9 + 718,18
8	E-C-E Asim	PR7 + 723,01	PR7 + 863,45	21	E-C-E Asim	PR9 + 871,71	PR9 + 994,44
9	E-C-E Asim	PR7 + 863,45	PR7 + 951,22	22	E-C-E Asim	PR9 + 994,44	PR10 + 090,24
10	E-C-E Sim	PR8 + 004,60	PR8 + 140,13	23	E-E Sim	PR10 + 167,08	PR10 + 283,90
11	E-E Sim	PR8 + 140,13	PR8 + 217,74	24	E-C-E Asim	PR10 + 283,90	PR10 + 386,08
12	E-C-E Asim	PR8 + 353,89	-	25	E-C-E Asim	PR10 + 386,08	PR10 + 536,24
13	-	-	-	26	E-C-E Asim	PR10 + 536,24	PR10 + 678,62

Tabla 5. Descripción curvas horizontales T6-2 calzada izquierda

PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	E-C-E Sim	PR6 + 679,31	PR6 + 794,15	14	E-C-E Asim	-	PR8 +701,13
2	E-E Sim	PR6 + 866,05	PR6 + 957,43	15	E-C-E Asim	PR8 +701,13	PR8 + 848,04
3	E-C-E Sim	PR6 + 957,43	PR7 + 079,74	16	E-C-E Asim	PR8 + 848,04	PR8 + 991,97
4	E-C-E Asim	PR7 + 137,05	PR7 + 267,57	17	E-C-E Asim	PR8 + 991,97	PR9 + 169,78
5	E-C-E Asim	PR7 + 267,57	PR7 + 367,06	18	E-C-E Asim	PR9 + 285,22	PR9 + 470,01
6	E-E Sim	PR7 + 475,63	PR7 + 567,93	19	E-C-E Asim	PR9 + 470,01	PR9 + 614,45
7	E-C-E Asim	PR7 + 567,93	PR7 + 723,13	20	E-C-E Asim	PR9 + 614,45	PR9 + 717,61
8	E-C-E Asim	PR7 + 723,13	PR7 + 859,34	21	E-C-E Asim	PR9 + 857,27	PR9 + 980,51
9	E-C-E Asim	PR7 + 859,34	PR7 + 944,73	22	E-C-E Asim	PR9 + 980,51	PR10 + 076,35
10	E-C-E Sim	PR8 + 019,21	PR8 + 173,48	23	E-C-E Asim	PR10 + 166,16	PR10 + 269,06
11	E-E Sim	PR8 + 173,48	PR8 + 250,46	24	E-C-E Asim	PR10 + 269,06	PR10 + 376,41
12	E-C-E Asim	PR8 + 380,19	-	25	E-C-E Asim	PR10 + 376,41	PR10 + 534,55
13	-	-	-	26	E-C-E Asim	PR10 + 534,55	PR10 + 675,47

Tabla 6. Descripción curvas horizontales T6-4 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	E-C-E Sim	PR14 + 889,34	PR14 + 982,78	5	E-C-E Sim	PR15 + 806,17	PR16 + 106,33
2	E-E Sim	PR15 + 064,81	PR15 + 140,62	6	E-C-E Sim	PR16 + 167,46	PR16 + 362,27
3	E-E Sim	PR15 + 222,13	PR15 + 289,57	7	E-E Sim	PR16 + 640,51	PR16 + 705,67
4	E-C-E Sim	PR15 + 303,41	PR15 + 440,84				

Nota: Para el Diseño Geométrico correspondiente al trayecto T6-2 tanto para calzada izquierda como para calzada derecha, está planteado el **Viaducto Las Palmas**, que corresponde a los PI´s No. 12,13 y 14. En adelante, dicho tramo no

se tendrá en cuenta para el análisis de parámetros objeto de estudio, esto aplica tanto para el estudio efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras Año 1998 como para la Edición año 2008.

2.1.2.2 Descripción entretangencias horizontales. A continuación, se presentan cuadros resumen indicando las abscisas de inicio y terminación de cada entretangencia horizontal y su longitud correspondiente, presentes en el diseño para cada trayecto del proyecto: (ver tablas 7- 11)

Tabla 7. Descripción entretangencias horizontales T6-1 calzada derecha

Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)	Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR0 + 222.00	PR0 + 222.00	0.00	15	PR2 + 913.04	PR2 + 913.14	0.00
2	PR0 + 379.38	PR0 + 412.89	33.51	16	PR3 + 28.31	PR3 + 96.16	67.85
3	PR0 + 532.02	PR0 + 532.68	0.00	17	PR3 + 235.61	PR3 + 380.92	145.31
4	PR0 + 612.68	PR0 + 658.34	45.66	18	PR3 + 493.45	PR3 + 704.24	210.79
5	PR0 + 750.71	PR0 + 750.71	0.00	19	PR3 + 834.20	PR3 + 873.93	39.73
6	PR0 + 897.16	PR0 + 897.16	0.00	20	PR3 + 973.93	PR4 + 2.53	28.60
7	PR1 + 42.66	PR1 + 169.87	127.21	21	PR4 + 102.53	PR4 + 640.02	537.49
8	PR1 + 329.87	PR1 + 416.65	86.78	22	PR4 + 825.19	PR4 + 885.47	60.28
9	PR1 + 556.34	PR1 + 556.34	0.00	23	PR5 + 13.48	PR5 + 292.74	279.26
10	PR1 + 830.57	PR1 + 870.54	39.97	24	PR5 + 372.69	PR5 + 406.65	33.96
11	PR2 + 188.16	PR2 + 236.89	48.73	25	PR5 + 496.65	PR5 + 500.20	3.55
12	PR2 + 369.31	PR2 + 440.79	71.48	26	PR5 + 590.20	PR5 + 610.78	20.58
13	PR2 + 506.80	PR2 + 577.63	70.83	27	PR5 + 758.26	PR5 + 921.55	163.29
14	PR2 + 661.30	PR2 + 793.44	132.14	28	PR6 + 192.06	PR6 + 192.06	0.00

Tabla 8. Descripción entretangencias horizontales T6-1 calzada izquierda

Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)	Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR0 + 269.92	PR0 + 269.92	0.00	16	PR3 + 66.24	PR3 + 132.76	66.52
2	PR0 + 424.50	PR0 + 471.63	47.13	17	PR3 + 272.20	PR3 + 419.73	147.53
3	PR0 + 585.87	PR0 + 586.53	0.66	18	PR3 + 532.26	PR3 + 738.78	206.52
4	PR0 + 653.73	PR0 + 705.89	52.16	19	PR3 + 874.67	PR3 + 906.75	32.08
5	PR0 + 798.60	PR0 + 798.60	0.00	20	PR4 + 14.25	PR4 + 34.55	20.30
6	PR0 + 946.65	PR0 + 946.65	0.00	21	PR4 + 144.55	PR4 + 436.75	292.20
7	PR1 + 93.34	PR1 + 215.74	122.40	22	PR4 + 526.75	PR4 + 568.88	42.13
8	PR1 + 375.74	PR1 + 473.69	97.95	23	PR4 + 702.63	PR4 + 932.05	229.42
9	PR1 + 614.34	PR1 + 614.34	0.00	24	PR5 + 60.06	PR5 + 326.63	266.56
10	PR1 + 904.49	PR1 + 944.67	40.32	25	PR5 + 405.54	PR5 + 443.66	38.12
11	PR2 + 251.99	PR2 + 296.42	44.43	26	PR5 + 533.66	PR5 + 536.95	3.29
12	PR2 + 406.04	PR2 + 479.20	73.16	27	PR5 + 626.95	PR5 + 645.30	18.35
13	PR2 + 549.20	PR2 + 648.18	98.98	28	PR5 + 801.11	PR5 + 959.43	158.32
14	PR2 + 752.16	PR2 + 835.67	83.51	29	PR6 + 235.29	PR6 + 235.29	0.00
15	PR2 + 944.96	PR2 + 948.48	3.52				

Tabla 9. Descripción entretangencias horizontales T6-2 calzada derecha

Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)	Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR6 + 795,59	PR6 + 847,65	52.06	13	PR8 + 842,92	PR8 + 842,92	0.00
2	PR6 + 937,65	PR6 + 977,97	40.32	14	PR8 + 986,85	PR8 + 986,85	0.00
3	PR7 + 124,15	PR7 + 175,70	51.55	15	PR9 + 163,06	PR9 + 283,41	120.35
4	PR7 + 287,89	PR7 + 287,89	0.00	16	PR9 + 472,09	PR9 + 472,09	0.00
5	PR7 + 374,84	PR7 + 488,65	113.81	17	PR9 + 617,61	PR9 + 617,61	0.00
6	PR7 + 576,17	PR7 + 576,17	0.00	18	PR9 + 718,18	PR9 + 871,71	153.53
7	PR7 + 723,01	PR7 + 723,01	0.00	19	PR9 + 994,44	PR9 + 994,44	0.00
8	PR7 + 863,45	PR7 + 863,45	0.00	20	PR10 + 090,24	PR10 + 167,08	76.84
9	PR7 + 951,22	PR8 + 004,60	53.38	21	PR10 + 283,90	PR10 + 283,90	0.00
10	PR8 + 140,13	PR8 + 140,13	0.00	22	PR10 + 386,08	PR10 + 386,08	0.00
11	PR8 + 217,74	PR8 + 353,89	136.15	23	PR10 + 536,24	PR10 + 536,24	0.00
12	PR8 + 699,47	PR8 + 699,47	0.00				

Tabla 10. Descripción entretangencias horizontales T6-2 calzada izquierda

Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)	Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR6 + 794,15	PR6 + 866,05	71.90	13	PR8 + 848,04	PR8 + 848,04	0.00
2	PR6 + 957,43	PR6 + 957,43	0.00	14	PR8 + 991,97	PR8 + 991,97	0.00
3	PR7 + 079,74	PR7 + 137,05	57.31	15	PR9 + 169,78	PR9 + 285,22	115.44
4	PR7 + 267,57	PR7 + 267,57	0.00	16	PR9 + 470,01	PR9 + 470,01	0.00
5	PR7 + 367,06	PR7 + 475,63	108.57	17	PR9 + 614,45	PR9 + 614,45	0.00
6	PR7 + 567,93	PR7 + 567,93	0.00	18	PR9 + 717,61	PR9 + 857,27	139.66
7	PR7 + 723,13	PR7 + 723,13	0.00	19	PR9 + 980,51	PR9 + 980,51	0.00
8	PR7 + 859,34	PR7 + 859,34	0.00	20	PR10 + 076,35	PR10 + 166,16	89.81
9	PR7 + 944,73	PR8 + 019,21	74.48	21	PR10 + 269,06	PR10 + 269,06	0.00
10	PR8 + 173,48	PR8 + 173,48	0.00	22	PR10 + 376,41	PR10 + 376,41	0.00
11	PR8 + 250,46	PR8 + 380,19	129.73	23	PR10 + 534,55	PR10 + 534,55	0.00
12	PR8 +701,13	PR8 +701,13	0.00				

Tabla 11. Descripción entretangencias horizontales T6-4 calzada derecha

Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)	Entretangencia número	Abscisa ET	Abscisa TE	Longitud Entretangencia (m)
1	PR14 + 982,78	PR15 + 064,81	82.03	4	PR15 + 440,84	PR15 + 806,17	365.33
2	PR15 + 140,62	PR15 + 222,13	81.51	5	PR16 + 106,33	PR16 + 167,46	61.13
3	PR15 + 289,57	PR15 + 303,41	13.84	6	PR16 + 362,27	PR16 + 640,51	278.24

2.1.3 Alineamiento vertical:

8.1.3.1 Descripción curvas verticales. A continuación, se presenta la descripción de cada curva vertical indicando las abscisas de inicio y terminación, al igual que su forma de inflexión, para cada trayecto del proyecto en estudio: (ver tablas 12-21)

Tabla 12. Descripción curvas verticales T6-1 calzada derecha

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Concava	79.78	PR-0 + 044.77	PR0 + 035.02	9	Concava	328.04	PR3 + 337.42	PR3 + 665.45
2	Convexa	100.00	PR0 + 166.73	PR0 + 266.73	10	Convexa	139.27	PR4 + 124.77	PR4 + 264.04
3	Concava	154.14	PR0 + 320.18	PR0 + 474.32	11	Concava	500.00	PR4 + 762.71	PR5 + 262.71
4	Convexa	116.12	PR0 + 482.00	PR0 + 598.12	12	Convexa	145.95	PR5 + 482.66	PR5 + 628.62
5	Convexa	130.82	PR1 + 489.04	PR1 + 619.86	13	Concava	118.40	PR5 + 865.81	PR5 + 984.21
6	Concava	151.32	PR1 + 784.34	PR1 + 935.66	14	Convexa	100.00	PR6 + 221.13	PR6 + 321.13
7	Concava	80.00	PR2 + 300.00	PR2 + 380.00	15	Concava	100.00	PR6 + 328.93	PR6 + 428.93
8	Convexa	389.37	PR2 + 678.22	PR3 + 067.59					

Tabla 13. Descripción curvas verticales T6-1 calzada izquierda

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Concava	142.27	PR0 + 027.98	PR0 + 170.25	10	Convexa	50.00	PR2 + 715.00	PR2 + 765.00
2	Convexa	91.40	PR0 + 223.67	PR0 + 315.07	11	Convexa	80.00	PR2 + 820.00	PR2 + 900.00
3	Convexa	200.00	PR0 + 701.68	PR0 + 901.68	12	Concava	80.00	PR3 + 580.00	PR3 + 660.00
4	Concava	150.00	PR0 + 923.64	PR1 + 073.64	13	Convexa	100.00	PR4 + 150.00	PR4 + 250.00
5	Convexa	120.20	PR1 + 125.90	PR1 + 246.10	14	Concava	80.00	PR5 + 150.67	PR5 + 230.67
6	Convexa	84.94	PR1 + 497.53	PR1 + 582.47	15	Convexa	50.00	PR5 + 575.00	PR5 + 625.00
7	Concava	49.67	PR2 + 205.83	PR2 + 255.50	16	Concava	100.00	PR5 + 922.45	PR6 + 022.45
8	Convexa	72.03	PR2 + 283.99	PR2 + 356.01	17	Convexa	120.00	PR6 + 347.32	PR6 + 467.32
9	Concava	60.00	PR2 + 590.00	PR2 + 650.00					

Tabla 14. Descripción curvas verticales T6-2 calzada derecha

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Convexa	61.08	PR6 + 746.77	PR6 + 808.38	7	Concava	100.00	PR8 + 550.13	PR8 + 650.13
2	Concava	100.00	PR6 + 842.32	PR6 + 942.32	8	Convexa	140.00	PR8 + 966.22	PR9 + 106.22
3	Convexa	80.00	PR7 + 063.86	PR7 + 143.86	9	Concava	117.49	PR9 + 298.65	PR9 + 416.14
4	Concava	60.00	PR7 + 399.59	PR7 + 459.59	10	Concava	55.00	PR9 + 512.10	PR9 + 567.10
5	Convexa	39.00	PR7 + 713.59	PR7 + 752.59	11	Convexa	145.00	PR9 + 744.05	PR9 + 889.05
6	Concava	130.00	PR8 + 278.15	PR8 + 408.15	12	Concava	41.34	PR10 + 164.03	PR10 + 205.37

Tabla 15. Descripción curvas verticales T6-2 calzada izquierda

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Convexa	100.00	PR6 + 794.66	PR6 + 894.66	9	Concava	80.00	PR8 + 557.42	PR8 + 637.42
2	Concava	120.00	PR6 + 926.30	PR7 + 046.30	10	Convexa	45.40	PR8 + 726.91	PR8 + 772.80
3	Convexa	139.36	PR7 + 079.19	PR7 + 218.55	11	Concava	50.00	PR8 + 833.34	PR8 + 883.34
4	Concava	40.00	PR7 + 401.90	PR7 + 441.90	12	Convexa	195.00	PR8 + 938.70	PR9 + 133.70
5	Convexa	85.00	PR7 + 676.520	PR7 + 761.52	13	Concava	117.38	PR9 + 312.89	PR9 + 430.26
6	Concava	70.00	PR7 + 844.09	PR7 + 914.09	14	Concava	90.00	PR9 + 512.81	PR9 + 602.81
7	Convexa	70.00	PR8 + 094.03	PR8 + 164.03	15	Convexa	135.00	PR9 + 738.72	PR9 + 873.72
8	Concava	140.00	PR8 + 294.23	PR8 + 434.23	16	Concava	48.01	PR10 + 189.95	PR10 + 237.96

Tabla 16. Descripción curvas verticales T6-4 calzada derecha

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Concava	40.00	PR14 + 780.00	PR14 + 820.00	5	Concava	120.00	PR15 + 630.00	PR15 + 750.00
2	Concava	40.00	PR14 + 880.00	PR14 + 920.00	6	Convexa	280.00	PR15 +865.00	PR16 + 150.91
3	Convexa	80.00	PR15 + 040.00	PR15 + 120.00	7	Concava	200.00	PR16 + 470.00	PR16 + 670.00
4	Convexa	40.00	PR15 + 300.00	PR15 + 340.00	8	Convexa	310.00	PR16 + 828.58	PR17 + 138.58

2.1.3.2 Descripción entretangencias verticales. Las entretangencias verticales que conforman el diseño del trayecto 6, en sus abscisas de inicio, fin y longitud, se encuentran descritas en los siguientes cuadros resumen:

Tabla 17. Descripción curvas verticales T6-1 calzada derecha

Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV
1	131.72	PR0 + 035.02	PR0 + 166.73	8	271.05	PR3 + 067.59	PR3 + 337.42
2	53.62	PR0 + 266.73	PR0 + 320.18	9	460.32	PR3 + 665.45	PR4 + 124.77
3	7.69	PR0 + 474.32	PR0 + 482.00	10	500.34	PR4 + 264.04	PR4 + 762.71
4	893.04	PR0 + 598.12	PR1 + 489.04	11	220.48	PR5 + 262.71	PR5 + 482.66
5	165.17	PR1 + 619.86	PR1 + 784.34	12	238.10	PR5 + 628.62	PR5 + 865.81
6	365.21	PR1 + 935.66	PR2 + 300.00	13	237.24	PR5 + 984.21	PR6 + 221.13
7	298.74	PR2 + 380.00	PR2 + 678.22	14	7.82	PR6 + 321.13	PR6 + 328.93

Tabla 18. Descripción curvas verticales T6-1 calzada izquierda

Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV
1	53.43	PR0 + 170.25	PR0 + 223.67	9	65.05	PR2 + 650.00	PR2 + 715.00
2	387.41	PR0 + 315.07	PR0 + 701.68	10	55.10	PR2 + 765.00	PR2 + 820.00
3	22.03	PR0 + 901.68	PR0 + 923.64	11	682.73	PR2 + 900.00	PR3 + 580.00
4	52.35	PR1 + 073.64	PR1 + 125.90	12	491.03	PR3 + 660.00	PR4 + 150.00
5	252.05	PR1 + 246.10	PR1 + 497.53	13	903.52	PR4 + 250.00	PR5 + 150.67
6	625.35	PR1 + 582.47	PR2 + 205.83	14	345.21	PR5 + 230.67	PR5 + 575.00
7	28.54	PR2 + 255.50	PR2 + 283.99	15	298.51	PR5 + 625.00	PR5 + 922.45
8	234.64	PR2 + 356.01	PR2 + 590.00	16	325.36	PR6 + 022.45	PR6 + 347.32

Tabla 19. Descripción curvas verticales T6-2 calzada derecha

Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV
1	34.01	PR6 + 808.38	PR6 + 842.32	7	316.97	PR8 + 650.13	PR8 + 966.22
2	121.58	PR6 + 942.32	PR7 + 063.86	8	192.89	PR9 + 106.22	PR9 + 298.65
3	256.57	PR7 + 143.86	PR7 + 399.59	9	95.98	PR9 + 416.14	PR9 + 512.10
4	254.53	PR7 + 459.59	PR7 + 713.59	10	177.24	PR9 + 567.10	PR9 + 744.05
5	526.93	PR7 + 752.59	PR8 + 278.15	11	275.34	PR9 + 889.05	PR10 + 164.03
6	142.00	PR8 + 408.15	PR8 + 550.13				

Tabla 20. Descripción curvas verticales T6-2 calzada izquierda

Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV
1	31.72	PR6 + 894.66	PR6 + 926.30	9	125.67	PR8 + 637.42	PR8 + 726.91
2	32.92	PR7 + 046.30	PR7 + 079.19	10	60.67	PR8 + 772.80	PR8 + 833.34
3	183.80	PR7 + 218.55	PR7 + 401.90	11	55.57	PR8 + 883.34	PR8 + 938.70
4	235.06	PR7 + 441.90	PR7 + 676.520	12	179.61	PR9 + 133.70	PR9 + 312.89
5	82.83	PR7 + 761.52	PR7 + 844.09	13	82.57	PR9 + 430.26	PR9 + 512.81
6	180.26	PR7 + 914.09	PR8 + 094.03	14	136.16	PR9 + 602.81	PR9 + 738.72
7	130.57	PR8 + 164.03	PR8 + 294.23	15	316.64	PR9 + 873.72	PR10 + 189.95
8	123.21	PR8 + 434.23	PR8 + 557.42				

Tabla 21. Descripción curvas verticales T6-4 calzada derecha

Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Entretangencia número	Longitud (m)	Abscisa PTV	Abscisa PCV
1	60.04	PR14 + 820.00	PR14 + 880.00	5	115.21	PR15 + 750.00	PR15 +865.00
2	120.05	PR14 + 920.00	PR15 + 040.00	6	319.88	PR16 + 150.91	PR16 + 470.00
3	180.38	PR15 + 120.00	PR15 + 300.00	7	158.80	PR16 + 670.00	PR16 + 828.58
4	290.71	PR15 + 340.00	PR15 + 630.00				

2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998

En este capítulo se analizaran 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.

2.2.1 Controles para el diseño geométrico:

2.2.1.1 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."[26] (ver tabla 22)

[26] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.21

Tabla 22. Tipo de terreno[27]

Terreno	Inclinacion maxima media de las lineas de maxima 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.
Escarapado (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.

A partir del analisis de las pendientes longitudinales y pendientes transversales del terreno se obtiene la pendiente maxima media y de ésta la que predomina en los trayectos T6-1, T6-2 y T6-4 así. (ver tabla 23)

[27] Ibíd., p.21

Tabla 23. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-1 calzada derecha

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL					
Tramo	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	ABSCISA	Distancia horizontal	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Pendiente maxima media (%)	Terreno
K0+000 a 100	100	1,55	1,55	K0 + 100	50	4,3	8,60	5,08	Ondulado
100 a 200	100	0,17	0,17	0 + 200	50	4,5	9,00	4,59	Plano
200 a 300	100	3,93	3,93	0 + 300	50	17,2	34,40	19,17	Ondulado
300 a 400	100	7,94	7,94	0 + 400	50	22,8	45,60	26,77	Montañoso
400 a 500	100	8,98	8,98	0 + 500	50	26,4	52,80	30,89	Montañoso
500 a 600	100	3,77	3,77	0 + 600	50	42,8	85,60	44,69	Montañoso
600 a 700	100	12,8	12,80	0 + 700	50	23,4	46,80	29,80	Montañoso
700 a 800	100	2,19	2,19	0 + 800	50	35,9	71,80	37,00	Montañoso
800 a 900	100	10,9	10,90	0 + 900	50	22,5	45,00	27,95	Montañoso
900 a K1 + 000	100	12,09	12,09	K1 + 000	50	14,6	29,20	20,65	Ondulado
K1+000 a 100	100	6,53	6,53	1 + 100	50	8,8	17,60	12,07	Ondulado
100 a 200	100	0,82	0,82	1 + 200	50	26,8	53,60	27,21	Montañoso
200 a 300	100	12,62	12,62	1 + 300	50	20,6	41,20	26,91	Montañoso
300 a 400	100	8,07	8,07	1 + 400	50	18,4	36,80	22,44	Ondulado
400 a 500	100	7,45	7,45	1 + 500	50	26,7	53,40	30,43	Montañoso
500 a 600	100	7,32	7,32	1 + 600	50	22,5	45,00	26,16	Montañoso
600 a 700	100	11,07	11,07	1 + 700	50	28,5	57,00	34,04	Montañoso
700 a 800	100	30,26	30,26	1 + 800	50	23,9	47,80	39,03	Montañoso
800 a 900	100	1,04	1,04	1 + 900	50	38,4	76,80	38,92	Montañoso
900 a K2 + 000	100	5,3	5,30	K2 + 000	50	21,9	43,80	24,55	Ondulado
K2+000 a 100	100	27,66	27,66	2 + 100	50	13,7	27,40	27,53	Montañoso
100 a 200	100	19,6	19,60	2 + 200	50	10,1	20,20	19,90	Ondulado
200 a 300	100	17,06	17,06	2 + 300	50	29,9	59,80	38,43	Montañoso
300 a 400	100	10,85	10,85	2 + 400	50	13,8	27,60	19,23	Ondulado
400 a 500	100	6,64	6,64	2 + 500	50	23,5	47,00	26,82	Montañoso
500 a 600	100	13,95	13,95	2 + 600	50	25	50,00	31,98	Montañoso
600 a 700	100	1,53	1,53	2 + 700	50	12,4	24,80	13,17	Ondulado
700 a 800	100	17,75	17,75	2 + 800	50	22,3	44,60	31,18	Montañoso
800 a 900	100	6,75	6,75	2 + 900	50	32,3	64,60	35,68	Montañoso
900 a K3 + 000	100	7,24	7,24	K3 + 000	50	45,4	90,80	49,02	Montañoso
K3+000 a 100	100	5,64	5,64	3 + 100	50	35,7	71,40	38,52	Montañoso
100 a 200	100	7,46	7,46	3 + 200	50	44,1	88,20	47,83	Montañoso
200 a 300	100	23,76	23,76	3 + 300	50	24,4	48,80	36,28	Montañoso
300 a 400	100	18,49	18,49	3 + 400	50	27,4	54,80	36,65	Montañoso
400 a 500	100	44,8	44,80	3 + 500	50	19,1	38,20	41,50	Montañoso
500 a 600	100	6,86	6,86	3 + 600	50	3,2	6,40	6,63	Ondulado
600 a 700	100	6,49	6,49	3 + 700	50	33,2	66,40	36,45	Montañoso
700 a 800	100	6,75	6,75	3 + 800	50	34,2	68,40	37,58	Montañoso
800 a 900	100	6,3	6,30	3 + 900	50	28,5	57,00	31,65	Montañoso
900 a K4+000	100	5,86	5,86	K4 + 000	50	20,1	40,20	23,03	Ondulado
K4+000 a 100	80	7,42	9,28	4 + 100	50	33	66,00	37,64	Montañoso
100 a 200	100	6,98	6,98	4 + 200	50	38,4	76,80	41,89	Montañoso
200 a 300	100	14,33	14,33	4 + 300	50	13,7	27,40	20,87	Ondulado
300 a 400	100	29,3	29,30	4 + 400	50	6,2	12,40	20,85	Ondulado
400 a 500	100	36,22	36,22	4 + 500	50	11,3	22,60	29,41	Montañoso
500 a 600	100	10,35	10,35	4 + 600	50	13,6	27,20	18,78	Ondulado
600 a 700	100	6,37	6,37	4 + 700	50	7,1	14,20	10,29	Ondulado
700 a 800	100	6,57	6,57	4 + 800	50	12,2	24,40	15,49	Ondulado

800 a 900	100	37,77	37,77	4 + 900	50	29,3	58,60	48,19	Montañoso
900 a K5 + 000	100	10,04	10,04	K5 + 000	50	23,8	47,60	28,82	Montañoso
K5+000 a 100	100	22,6	22,60	5 + 100	50	16,5	33,00	27,80	Montañoso
100 a 200	100	3,21	3,21	5 + 200	50	18,5	37,00	20,11	Ondulado
200 a 300	100	7,68	7,68	5 + 300	50	21	42,00	24,84	Ondulado
300 a 400	100	2,64	2,64	5 + 400	50	27,7	55,40	29,02	Montañoso
400 a 500	100	11,58	11,58	5 + 500	50	17,3	34,60	23,09	Ondulado
500 a 600	100	2,82	2,82	5 + 600	50	20,6	41,20	22,01	Ondulado
600 a 700	100	4,14	4,14	5 + 700	50	32,5	65,00	34,57	Montañoso
700 a 800	100	24,5	24,50	5 + 800	50	30,6	61,20	42,85	Montañoso
800 a 900	100	19,99	19,99	5 + 900	50	25,3	50,60	35,30	Montañoso
900 a K6+000	100	6,06	6,06	K6 + 000	50	8,5	17,00	11,53	Ondulado
K6+000 a 100	100	9,71	9,71	6 + 100	50	33,8	67,60	38,66	Montañoso
100 a 200	100	18,57	18,57	6 + 200	50	25,7	51,40	34,99	Montañoso
200 a 300	100	20,02	20,02	6 + 300	50	38,8	77,60	48,81	Montañoso
300 a 400	100	39,86	39,86	6 + 400	50	40,9	81,80	60,83	Montañoso
400 a 500	100	13,84	13,84	6 + 500	50	35,2	70,40	42,12	Montañoso
500 a 600	100	6,44	6,44	6 + 600	50	46,4	92,80	49,62	Montañoso
600 a K6 + 685,48	85,48	3,31	3,87	K6 + 685,48	50	35,1	70,20	37,04	Montañoso

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T6-1 en la calzada derecha es **MONTAÑOSO.** (ver tabla 23)

Tabla 24. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-1 calzada izquierda

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL					
Tramo	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	ABSCISA	Distancia horizontal	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Pendiente maxima media (%)	Terreno
K0+000 a 100	100	2,41	2,41	K0 + 100	50	55	7,8	5,08	Ondulado
100 a 200	100	1,84	1,84	0 + 200	50	35,5	9,4	5,62	Ondulado
200 a 300	100	3,16	3,16	0 + 300	50	13,1	42,0	22,59	Ondulado
300 a 400	100	6,81	6,81	0 + 400	50	23,1	18,8	12,78	Ondulado
400 a 500	100	6,47	6,47	0 + 500	50	16,3	59,9	33,20	Montañoso
500 a 600	100	6,27	6,27	0 + 600	50	18,2	116,6	61,46	Montañoso
600 a 700	100	6,18	6,18	0 + 700	50	26,2	38,6	22,38	Ondulado
700 a 800	100	6,81	6,81	0 + 800	50	37	72,4	39,60	Montañoso
800 a 900	100	7,23	7,23	0 + 900	50	42,4	42,2	24,74	Ondulado
900 a K1 + 000	100	6,92	6,92	K1 + 000	50	47,5	31,0	18,95	Ondulado
K1+000 a 100	100	3,87	3,87	1 + 100	50	28,6	23,1	13,50	Ondulado
100 a 200	100	8,97	8,97	1 + 200	50	18,6	46,1	27,54	Montañoso
200 a 300	100	6,83	6,83	1 + 300	50	22,9	35,6	21,23	Ondulado
300 a 400	100	7,1	7,10	1 + 400	50	19,8	36,6	21,86	Ondulado
400 a 500	100	6,9	6,90	1 + 500	50	26,6	79,3	43,10	Montañoso
500 a 600	100	6,2	6,20	1 + 600	50	29	46,1	26,14	Montañoso
600 a 700	100	8,36	8,36	1 + 700	50	29,5	44,6	26,50	Montañoso
700 a 800	100	11,83	11,83	1 + 800	50	28,4	68,7	40,25	Montañoso
800 a 900	100	29,15	29,15	1 + 900	50	13	53,8	41,46	Montañoso
900 a K2 + 000	100	5,14	5,14	K2 + 000	50	31,7	47,8	26,47	Montañoso
K2+000 a 100	100	6,46	6,46	2 + 100	50	33	26,4	16,43	Ondulado
100 a 200	100	13,75	13,75	2 + 200	50	33,2	15,5	14,63	Ondulado
200 a 300	100	5	5,00	2 + 300	50	18,8	70,6	37,81	Montañoso
300 a 400	100	4,34	4,34	2 + 400	50	20,1	46,4	25,38	Montañoso
400 a 500	100	22,86	22,86	2 + 500	50	24,5	54,5	38,67	Montañoso
500 a 600	100	4,4	4,40	2 + 600	50	6,6	34,1	19,25	Ondulado
600 a 700	100	1,81	1,81	2 + 700	50	28,8	17,6	9,69	Ondulado
700 a 800	100	7,65	7,65	2 + 800	50	6,7	26,6	17,14	Ondulado
800 a 900	100	5,46	5,46	2 + 900	50	7,2	190,2	97,84	Montañoso
900 a K3 + 000	100	16,85	16,85	K3 + 000	50	26,2	81,4	49,15	Montañoso
K3+000 a 100	100	0,43	0,43	3 + 100	50	27,4	70,6	35,52	Montañoso
100 a 200	100	4,31	4,31	3 + 200	50	15,3	154,5	79,40	Montañoso

800 a 900	100	9,8	9,80	3 + 900	50	17,5	59,0	34,38	Montañoso
900 a K4+000	100	4,53	4,53	K4 + 000	50	18,4	46,8	25,64	Montañoso
K4+000 a 100	80	6,5	8,13	4 + 100	50	10,1	60,8	34,45	Montañoso
100 a 200	100	4,22	4,22	4 + 200	50	33	54,4	29,31	Montañoso
200 a 300	100	41,53	41,53	4 + 300	50	33,2	16,4	28,94	Montañoso
300 a 400	100	45,51	45,51	4 + 400	50	18,8	36,5	41,01	Montañoso
400 a 500	100	33,61	33,61	4 + 500	50	20,1	20,3	26,94	Montañoso
500 a 600	100	0,61	0,61	4 + 600	50	24,5	26,9	13,76	Ondulado
600 a 700	100	21,42	21,42	4 + 700	50	6,6	24,9	23,15	Ondulado
700 a 800	100	4,78	4,78	4 + 800	50	28,8	20,3	12,55	Ondulado
800 a 900	100	2,53	2,53	4 + 900	50	6,7	65,6	34,07	Montañoso
900 a K5 + 000	100	23,85	23,85	K5 + 000	50	7,2	34,2	29,02	Montañoso
K5+000 a 100	100	3,73	3,73	5 + 100	50	26,2	32,5	18,14	Ondulado
100 a 200	100	5,25	5,25	5 + 200	50	27,4	33,1	19,16	Ondulado
200 a 300	100	11,81	11,81	5 + 300	50	15,3	77,4	44,60	Montañoso
300 a 400	100	7,22	7,22	5 + 400	50	30,5	57,3	32,26	Montañoso
400 a 500	100	6,94	6,94	5 + 500	50	30,9	40,2	23,59	Ondulado
500 a 600	100	6,82	6,82	5 + 600	50	40,8	37,9	22,38	Ondulado
600 a 700	100	9,43	9,43	5 + 700	50	29	46,0	27,74	Montañoso
700 a 800	100	2,03	2,03	5 + 800	50	28,2	36,5	19,28	Ondulado
800 a 900	100	16,15	16,15	5 + 900	50	21,6	149,0	82,57	Montañoso
900 a K6+000	100	6,32	6,32	K6 + 000	50	17,5	15,2	10,78	Ondulado
K6+000 a 100	100	2,41	2,41	6 + 100	50	28,2	66,9	34,63	Montañoso
100 a 200	100	9,73	9,73	6 + 200	50	21,6	90,0	49,88	Montañoso
200 a 300	100	3,18	3,18	6 + 300	50	17,5	64,6	33,90	Montañoso
300 a 400	100	6,79	6,79	6 + 400	50		91,6	49,19	Montañoso
400 a 500	100	10,48	10,48	6 + 500	50		50,6	30,52	Montañoso
500 a 600	100	1,21	1,21	6 + 600	50		91,5	46,37	Montañoso
600 a 700	100	7,42	7,42	6 + 700	50	18,4	62,7	35,08	Montañoso
700 a K6 + 740	40	0,78	1,95	K6 + 740	50	10,1	38,2	20,08	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T6-1 en la calzada izquierda es **MONTAÑOSO.** (ver tabla 24)

Tabla 25. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-2 calzada derecha

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL					
Tramo	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Abscisa	Distancia horizontal	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Pendiente maxima media (%)	Terreno
K6 + 611,32 a 700	88,68	18,75	21,14	K6 + 700	50	55	110,00	65,57	Montañoso
700 a 800	100	42,27	42,27	6 + 800	50	35,5	71,00	56,64	Montañoso
800 a 900	100	14,32	14,32	6 + 900	50	13,1	26,20	20,26	Montañoso
900 a k7 + 000	100	0,29	0,29	k7 + 000	50	23,1	46,20	23,25	Ondulado
k7 + 000 a 100	100	11,41	11,41	7 + 100	50	16,3	32,60	22,01	Ondulado
100 a 200	100	9,48	9,48	7 + 200	50	18,2	36,40	22,94	Ondulado
200 a 300	100	18,68	18,68	7+ 300	50	26,2	52,40	35,54	Montañoso
300 a 400	100	2,81	2,81	7 + 400	50	37	74,00	38,41	Montañoso
400 a 500	100	17,58	17,58	7 + 500	50	42,4	84,80	51,19	Montañoso
500 a 600	100	10,07	10,07	7 + 600	50	47,5	95,00	52,54	Montañoso
600 a 700	100	16,17	16,17	7 + 700	50	28,6	57,20	36,69	Montañoso
700 a 800	100	38,61	38,61	7 + 800	50	18,6	37,20	37,91	Montañoso
800 a 900	100	1,25	1,25	7 + 900	50	22,9	45,80	23,53	Ondulado
900 a k8 + 000	100	2,23	2,23	k8 + 000	50	19,8	39,60	20,92	Ondulado
k8 + 000 a 100	100	6,29	6,29	8 + 100	50	26,6	53,20	29,75	Montañoso
100 a 200	100	18,76	18,76	8 + 200	50	29	58,00	38,38	Montañoso
200 a 300	100	17,07	17,07	8 + 300	50	29,5	59,00	38,04	Montañoso
300 a 400	100	10,36	10,36	8 + 400	50	28,4	56,80	33,58	Montañoso
400 a 500	100	15,48	15,48	8 + 500	50	13	26,00	20,74	Ondulado
500 a 600	100	25,87	25,87	8 + 600	50	31,7	63,40	44,64	Montañoso
600 a 700	100	8,68	8,68	8 + 700	50	33	66,00	37,34	Montañoso
700 a 800	100	5,65	5,65	8 + 800	50	33,2	66,40	36,03	Montañoso
800 a 900	100	14,83	14,83	8 + 900	50	18,8	37,60	26,22	Montañoso
900 a k9 + 000	100	7,88	7,88	k9+ 000	50	20,1	40,20	24,04	Ondulado
k9+ 000 a 100	100	2,18	2,18	9 + 100	50	24,5	49,00	25,59	Montañoso
100 a 200	100	14,47	14,47	9 + 200	50	6,6	13,20	13,84	Ondulado
200 a 300	100	6,78	6,78	9 + 300	50	28,8	57,60	32,19	Montañoso
300 a 400	100	5,49	5,49	9 + 400	50	6,7	13,40	9,45	Ondulado
400 a 500	100	4,35	4,35	9 + 500	50	7,2	14,40	9,38	Ondulado
500 a 600	100	9,68	9,68	9 + 600	50	26,2	52,40	31,04	Montañoso
600 a 700	100	8,82	8,82	9 + 700	50	27,4	54,80	31,81	Montañoso
700 a 800	100	13,77	13,77	9 + 800	50	15,3	30,60	22,19	Ondulado
800 a 900	100	6,91	6,91	9 + 900	50	30,5	61,00	33,96	Montañoso
900 a k10 + 000	100	0,11	0,11	k10 + 000	50	30,9	61,80	30,96	Montañoso
k10 + 000 a 100	100	5,81	5,81	10 + 100	50	40,8	81,60	43,71	Montañoso
100 a 200	100	4,67	4,67	10 + 200	50	29	58,00	31,34	Montañoso
200 a 300	100	4,09	4,09	10 + 300	50	28,2	56,40	30,25	Montañoso
300 a 400	100	4,18	4,18	10 + 400	50	21,6	43,20	23,69	Ondulado
400 a 500	100	3,6	3,60	10 + 500	50	17,5	35,00	19,30	Ondulado
500 a 600	100	12,3	12,30	10 + 600	50	18,4	36,80	24,55	Ondulado
600 a 680	80	0,03	0,04	10 + 680	50	10,1	20,20	10,12	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T6-2 en la CALZADA derecha es **MONTAÑOSO.** (ver tabla 25)

Tabla 26. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-2 calzada izquierda

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL					
Tramo	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Abscisa	Distancia horizontal	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Pendiente maxima media (%)	Terreno
K6 + 611,32 a 700	88,68	12,57	14,17	K6 + 700	50	49,6	99,20	56,69	Montañoso
700 a 800	100	22,45	22,45	6 + 800	50	37,1	74,20	48,33	Montañoso
800 a 900	100	6,13	6,13	6 + 900	50	16	32,00	19,07	Ondulado
900 a k7 + 000	100	6,55	6,55	k7 + 000	50	9,5	19,00	12,78	Ondulado
k7 + 000 a 100	100	4,32	4,32	7 + 100	50	18,5	37,00	20,66	Ondulado
100 a 200	100	5,85	5,85	7 + 200	50	24,8	49,60	27,73	Montañoso
200 a 300	100	6,93	6,93	7+ 300	50	21,6	43,20	25,07	Montañoso
300 a 400	100	7,07	7,07	7 + 400	50	37,3	74,60	40,84	Montañoso
400 a 500	100	6,54	6,54	7 + 500	50	39,8	79,60	43,07	Montañoso
500 a 600	100	7,96	7,96	7 + 600	50	50,4	100,80	54,38	Montañoso
600 a 700	100	4,39	4,39	7 + 700	50	37,6	75,20	39,80	Montañoso
700 a 800	100	28,45	28,45	7 + 800	50	16	32,00	30,23	Montañoso
800 a 900	100	14,35	14,35	7 + 900	50	19,8	39,60	26,98	Montañoso
900 a k8 + 000	100	6,73	6,73	k8 + 000	50	19,7	39,40	23,07	Ondulado
k8 + 000 a 100	100	11,41	11,41	8 + 100	50	39,5	79,00	45,21	Montañoso
100 a 200	100	26,49	26,49	8 + 200	50	29,7	59,40	42,95	Montañoso
200 a 300	100	7,02	7,02	8 + 300	50	23,1	46,20	26,61	Montañoso
300 a 400	100	6,84	6,84	8 + 400	50	40,8	81,60	44,22	Montañoso
400 a 500	100	26,65	26,65	8 + 500	50	9,1	18,20	22,43	Ondulado
500 a 600	100	32,83	32,83	8 + 600	50	34,6	69,20	51,02	Montañoso
600 a 700	100	9,18	9,18	8 + 700	50	31,8	63,60	36,39	Montañoso
700 a 800	100	7,74	7,74	8 + 800	50	25,5	51,00	29,37	Montañoso
800 a 900	100	6,52	6,52	8 + 900	50	22,2	44,40	25,46	Montañoso
900 a k9 + 000	100	6,93	6,93	k9+ 000	50	33,8	67,60	37,27	Montañoso
k9+ 000 a 100	100	0,13	0,13	9 + 100	50	28,4	56,80	28,47	Montañoso
100 a 200	100	6,18	6,18	9 + 200	50	4,5	9,00	7,59	Ondulado
200 a 300	100	4,39	4,39	9 + 300	50	20,4	40,80	22,60	Ondulado
300 a 400	100	13,41	13,41	9 + 400	50	4	8,00	10,71	Ondulado
400 a 500	100	8,57	8,57	9 + 500	50	21,2	42,40	25,49	Montañoso
500 a 600	100	4	4,00	9 + 600	50	23,5	47,00	25,50	Montañoso
600 a 700	100	14,65	14,65	9 + 700	50	27,1	54,20	34,43	Montañoso
700 a 800	100	27,53	27,53	9 + 800	50	26,8	53,60	40,57	Montañoso
800 a 900	100	23,46	23,46	9 + 900	50	25,4	50,80	37,13	Montañoso
900 a k10 + 000	100	9,28	9,28	k10 + 000	50	34,6	69,20	39,24	Montañoso
k10 + 000 a 100	100	11,49	11,49	10 + 100	50	29,3	58,60	35,05	Montañoso
100 a 200	100	5,15	5,15	10 + 200	50	28,6	57,20	31,18	Montañoso
200 a 300	100	4,22	4,22	10 + 300	50	25,2	50,40	27,31	Montañoso
300 a 400	100	2,86	2,86	10 + 400	50	39,8	79,60	41,23	Montañoso
400 a 500	100	5,4	5,40	10 + 500	50	18,1	36,20	20,80	Ondulado
500 a 600	100	7,58	7,58	10 + 600	50	21,4	42,80	25,19	Montañoso
600 a 660	60	2,41	4,02	10 + 660	50	9,3	18,60	11,31	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T6-2 en la calzada izquierda es **MONTAÑOSO.** (ver tabla 26)

Tabla 27. Pendiente longitudinal, transversal y media máxima _ tipo de terreno T6-4.calzada derecha

PENDIENTE LONGITUDINAL				PENDIENTE TRANSVERSAL					
Tramo	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Abscisa	Distancia horizontal	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Pendiente maxima media (%)	Terreno
K14 + 823,93 a 900	76,07	2,45	3,22	K14 + 900	50	12,1	24,20	13,71	Ondulado
900 a k15 + 000	100	1,47	1,47	k15 + 000	50	14,8	29,60	15,54	Ondulado
k15 + 000 a 100	100	0,08	0,08	15 +100	50	12,7	25,40	12,74	Ondulado
100 a 200	100	7,9	7,90	15 + 200	50	14,1	28,20	18,05	Ondulado
200 a 300	100	8,15	8,15	15 + 300	50	12,2	24,40	16,28	Ondulado
300 a 400	100	6,45	6,45	15 + 400	50	15,1	30,20	18,33	Ondulado
400 a 500	100	7,68	7,68	15 + 500	50	12,5	25,00	16,34	Ondulado
500 a 600	100	9,95	9,95	15 + 600	50	5,6	11,20	10,58	Ondulado
600 a 700	100	5,87	5,87	15 + 700	50	1,2	2,40	4,14	Plano
700 a 800	100	5,44	5,44	15 + 800	50	19,3	38,60	22,02	Ondulado
800 a 900	100	4,94	4,94	15 + 900	50	13,7	27,40	16,17	Ondulado
900 a k16 + 000	100	3,27	3,27	k16 + 000	50	6,2	12,40	7,84	Ondulado
k16 + 000 a 100	100	1,05	1,05	16 + 100	50	6,4	12,80	6,93	Ondulado
100 a 200	100	2,81	2,81	16 + 200	50	12,5	25,00	13,91	Ondulado
200 a 300	100	9,35	9,35	16 + 300	50	11,4	22,80	16,08	Ondulado
300 a 400	100	6,66	6,66	16 + 400	50	13,3	26,60	16,63	Ondulado
400 a 500	100	11,72	11,72	16 + 500	50	3,8	7,60	9,66	Ondulado
500 a 600	100	1,26	1,26	16 + 600	50	7,9	15,80	8,53	Ondulado
600 a 700	100	3,31	3,31	16 + 700	50	4,8	9,60	6,46	Ondulado
700 a 800	100	5,43	5,43	16 + 800	50	5,7	11,40	8,42	Ondulado

El tipo de terreno que predomina para el trayecto T6-4 en la calzada derecha es **ONDULADO.** (ver tabla 27)

Tabla 28. Porcentajes de tipo de terreno _ terreno predominante

Trayecto	Calzada	Terreno Escarpado (%)	Terreno Montañoso (%)	Terreno Ondulado (%)	Terreno Plano (%)	Tipo de Terreno predominante
T6-1	Derecha	0.00	67.09	31.41	1.50	Montañoso
	Izquierda	0.00	62.31	37.69	0.00	Montañoso
T6-2	Derecha	0.00	66.08	33.92	0.00	Montañoso
	Izquierda	0.00	77.92	22.08	0.00	Montañoso
T6-4	Derecha	0.00	0.00	94.94	5.06	Ondulado

- ✓ Categoría de la vía: El proyecto de la Concesión Vial Rumichaca –Pasto – Chachagüi – Aeropuerto Trayecto 6, se constituye como una **Carretera Principal de doble Calzada** debido a que es una Troncal (que va de Sur a Norte) y es un acceso a la capital nariñense con la función básica de integración con las principales zonas de producción y de consumo del país y de éste con los demás países de la región andina y del caribe. (ver tabla 28)

Tabla 29. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno[28].

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 29, se determina que la Velocidad de Diseño está entre 80 km/h y 120 km/h para todos los trayectos en estudio, de lo anterior se identifica que **el valor mínimo de Vd corresponde a 80 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 DEVINAR 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.

2.2.1.2 Vehículo de diseño. 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.

2.2.1.3 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

[28] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 45

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:

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

Dónde:

Dp: Distancia de visibilidad de parada, (m)

Vd: Velocidad de diseño, (km/h)

fl: Coeficiente de fricción longitudinal llanta-pavimento

p: Pendiente de la rasante (tanto por uno), + ascenso, - descenso."[29]

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de parada es necesario determinar el coeficiente de fricción longitudinal llanta – pavimento. (ver tabla 30)

Tabla 30. Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos[30].

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, determinamos **fl** con base en la velocidad real de diseño Vd=50 km/h y velocidad teórica mínima de diseño Vd = 80 km/h, cuyos valores son fl = 0.370 y fl = 0.320 respectivamente.

[29] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 50

[30] Ibíd., p. 50

"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."[31]

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

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, (%)."[32]

A continuación, se presenta el análisis para la Distancia de Visibilidad de Parada DVP en curvas verticales convexas, debido a que se debe garantizar que exista

[31] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 112
[32] Ibíd., p.115

dicha distancia, puesto que éstas, por su misma forma de inflexión representan la 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, a continuación se indica el procedimiento de análisis para las curvas verticales que conforman el T6-1 Calzada Derecha para la velocidad real de diseño, estableciendo que este no presenta variación respecto a otros trayectos (y calzadas derecha e izquierda). (ver tabla 31)

Tabla 31. Distancia de visibilidad de parada en perfil T6 - 1 calzada derecha (VD real de diseño)

PIV No.	Forma de inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	Longitud de la curva vertical L (m)	DV<L	DVP existente (m)	Vd (Km/h)	Fl (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepcion - Reaccion (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	-1.249	-7.869	6.620	100.00	SI	80.12	50	0.37	-0.07869	27.8	33.79	61.59	CUMPLE
3	Convexa	-5.134	-6.898	1.764	112.12	SI	164.36	50	0.37	-0.06898	27.8	32.70	60.50	CUMPLE
4	Convexa	-6.898	-9.139	2.241	130.82	SI	157.51	50	0.37	-0.09139	27.8	35.33	63.13	CUMPLE
7	Convexa	-5.895	-9.513	3.618	389.37	SI	213.87	50	0.37	-0.09513	27.8	35.81	63.61	CUMPLE
9	Convexa	-6.610	-8.183	1.573	139.27	SI	193.98	50	0.37	-0.08183	27.8	34.16	61.96	CUMPLE
11	Convexa	-6.931	-8.781	1.850	145.95	SI	183.11	50	0.37	-0.08781	27.8	34.88	62.68	CUMPLE
13	Convexa	-5.224	-7.372	2.148	100.00	SI	140.66	50	0.37	-0.07372	27.8	33.22	61.02	CUMPLE

La distancia de visibilidad de parada DVP existente en las curvas verticales convexas del trayecto 6 para la velocidad real de diseño cumplen satisfactoriamente, mientras que para la velocidad teórica mínima de diseño se presentan porcentajes considerables de curvas que no cumplen con este criterio. (ver tabla 32)

Tabla 32. Curvas verticales convexas trayecto 6 no cumplen DVP mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	7	0	0.00	1	14.29
	Izquierda	10	0	0.00	2	20.00
T6-2	Derecha	5	0	0.00	3	60.00
	Izquierda	7	0	0.00	2	28.57
T6-4	Derecha	4	0	0.00	3	75.00

- ✓ 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.”[33]

Esta distancia de visibilidad se estudia en proyectos de carreteras de una sola calzada con flujo vehicular en los dos sentidos, por lo tanto, en el presente trabajo

[33] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 51

se obviará este análisis debido a que la carretera se constituye en una doble calzada y no presenta riesgo de colisión al realizar una maniobra de adelantamiento, debido a que en el sentido contrario no hay flujo vehicular.

- ✓ 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."[34]

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.

2.2.1.4 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"[35], por lo cual en el desarrollo de este trabajo se limitará solo a su estudio y análisis.

Las distancias de visibilidad, tanto de parada como de adelantamiento (en este caso aplica solo la de parada), se evaluara para cada curva diseñada para planos planta- perfil. De esta manera, se podrá apreciar en conjunto todo el trazado y verificar el cumplimiento de un proyecto más equilibrado.

"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: 1.15 metros.

- ✓ Altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar: 0.15 metros.

[34] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 58
[35] Ibíd., p. 58

- ✓ Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: 1.35 metros."[36]

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."[37]

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 33, 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.

Tabla 33. Distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente 0%

Velocidades de Diseño Vd (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

Para el presente trabajo, se analizará la distancia de visibilidad de parada DVP de cada curva horizontal a partir de la abscisa inicio de la misma, en el sentido de avance y esta se compara con la DVP teórica calculada, a continuación se indica el análisis de este parámetro para el T6-2 Calzada Izquierda para la velocidad real de diseño. (ver tabla 34)

[36] Ibíd., p. 58

[37] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998 p. 59

Tabla 34. Distancia de visibilidad de parada en planta T6 - 2 calzada izquierda (VD real de diseño)

PI No.	Tipo de empalme	DVP Existente leída en planos (m)	Velocidad de Diseño (Km/h)	DVP mínima teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E Asim	67.86	50.00	55.00	CUMPLE
2	E-C-E Asim	77.14	50.00	55.00	CUMPLE
3	E-C-E Sim	65.84	50.00	55.00	CUMPLE
4	E-E Sim	89.54	50.00	55.00	CUMPLE
5	E-C-E Asim	63.40	50.00	55.00	CUMPLE
6	E-C-E Asim	64.69	50.00	55.00	CUMPLE
7	E-C-E Asim	64.51	50.00	55.00	CUMPLE
8	E-E Sim	227.55	50.00	55.00	CUMPLE
9	E-C-E Asim	82.94	50.00	55.00	CUMPLE
10	E-C-E Asim	78.71	50.00	55.00	CUMPLE
11	E-C-E Sim	66.49	50.00	55.00	CUMPLE
12	E-C-E Sim	60.39	50.00	55.00	CUMPLE
13	E-C-E Sim	92.00	50.00	55.00	CUMPLE
14	E-C-E Sim	73.36	50.00	55.00	CUMPLE
15	E-C-E Asim	69.44	50.00	55.00	CUMPLE
16	E-C-E Asim	57.76	50.00	55.00	CUMPLE
17	E-C-E Sim	67.50	50.00	55.00	CUMPLE
18	E-C-E Sim	62.91	50.00	55.00	CUMPLE
19	E-C-E Sim	77.82	50.00	55.00	CUMPLE
20	E-E Sim	71.35	50.00	55.00	CUMPLE
21	E-E Sim	108.92	50.00	55.00	CUMPLE
22	E-C-E Sim	151.00	50.00	55.00	CUMPLE
23	E-C-E Sim	62.90	50.00	55.00	CUMPLE
24	E-C-E Sim	61.98	50.00	55.00	CUMPLE
25	E-E Sim	91.06	50.00	55.00	CUMPLE
26	E-E Sim	107.65	50.00	55.00	CUMPLE
27	E-C-E Asim	91.04	50.00	55.00	CUMPLE
28	E-C-E Asim	101.82	50.00	55.00	CUMPLE
29	E-C-E Asim	87.94	50.00	55.00	CUMPLE

Analizando la distancia de visibilidad de parada para curvas horizontales del trayecto 6, medida en planos con relación a la DVP teórica mínima, para una velocidad real de diseño de 50 km/h cumple en su totalidad, mientras que tomando la velocidad teórica mínima de 80 km/h, no cumple en la mayoría, siendo su valor muy cercano o igual al 100%, como se indica en la siguiente tabla: (ver tabla 35)

Tabla 35. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen DVP mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	29	0	0.00	27	93.10
	Izquierda	30	0	0.00	28	93.33
T6-2	Derecha	23	0	0.00	22	95.65
	Izquierda	23	0	0.00	23	100.00
T6-4	Derecha	6	0	0.00	6	100.00

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."[38]

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 el numeral 8.2.1.3, esto permite concluir que es más conveniente aplicar el análisis matemático debido a su precisión.

2.2.2 Diseño en planta del eje de la carretera

2.2.2.1 Curvas horizontales. Las curvas horizontales que conforman el diseño Geométrico del Trayecto T6-1, T6-2 y T6-4 son curvas de transición (Clotoide). En su mayoría, el diseño en planta lo conforman curvas Espiral – Circulo – Espiral y tan solo unas pocas son Espiral – Espiral.

2.2.2.2 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:

$$Rm = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})} \qquad [10]$$

Donde:

Rm: Radio mínimo absoluto, (m)

V: Velocidad específica, (km/h)

[38] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 59

emáx: Peralte máximo asociado a V, en tanto por uno

fmáx: Coeficiente de fricción lateral máximo, asociado a V.

La tabla 36, condensa los radios mínimos absolutos para las velocidades específicas indicadas; y sólo podrán ser usados en situaciones extremas, deberá 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."[39]

Tabla 36. Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de velocidad especifica

Velocidad Especifica V (Km/h)	Coeficiente de friccion lateral ft (-)	Peralte e% (maximo)	Peralte e% (minimo)	Radio minimo Corregido R (m)	J (cte) (-)	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	240	0.6	0.50	
90	0.133	7.0	2.0	320	0.6	0.48	
100	0.126	6.5	2.0	420	0.5	0.45	
110	0.118	6.0	2.0	540	0.5	0.42	
120	0.110	5.5	2.0	700	0.4	0.40	
130	0.100	5.0	2.0	900	0.4	0.40	
140	0.094	4.5	2.0	1130	0.4	0.40	
150	0.087	4.0	2.0	1420	0.4	0.40	

A continuación, se presenta el procedimiento de análisis para el trayecto T6-1 Calzada Derecha de radios mínimos absolutos para una velocidad real de diseño y velocidad teórica mínima de diseño, este es aplicable igualmente para los demás trayectos en estudio. (ver tabla 37)

[39] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 66

Tabla 37. Chequeo radios mínimos absolutos T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Vd = 50 Km/h $R_{Existente} \geq R_{mín}$; $R_{mín}$ = 80m	Vd = 80 Km/h $R_{Existente} \geq R_{mín}$; $R_{mín}$ = 235m	PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Vd = 50 Km/h $R_{Existente} \geq R_{mín}$; $R_{mín}$ = 80m	Vd = 80 Km/h $R_{Existente} \geq R_{mín}$; $R_{mín}$ = 235m
1	E-C-E Asim	106.90	CUMPLE	NO CUMPLE	16	E-C-E Asim	73.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
2	E-C-E Asim	120.00	CUMPLE	NO CUMPLE	17	E-C-E Sim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE
3	E-C-E Sim	90.00	CUMPLE	NO CUMPLE	18	E-C-E Sim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE
4	E-E Sim	112.51	CUMPLE	NO CUMPLE	19	E-C-E Sim	113.60	CUMPLE	NO CUMPLE
5	E-C-E Asim	95.00	CUMPLE	NO CUMPLE	20	E-E Sim	93.02	CUMPLE	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim	73.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21	E-E Sim	170.01	CUMPLE	NO CUMPLE
7	E-C-E Asim	73.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22	E-C-E Sim	400.00	CUMPLE	CUMPLE
8	E-E Sim	573.02	CUMPLE	CUMPLE	23	E-C-E Sim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE
9	E-C-E Asim	120.00	CUMPLE	NO CUMPLE	24	E-C-E Sim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE
10	E-C-E Asim	68.50	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25	E-E Sim	124.27	CUMPLE	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	88.90	CUMPLE	NO CUMPLE	26	E-E Sim	184.01	CUMPLE	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE	27	E-C-E Asim	140.10	CUMPLE	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	73.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28	E-C-E Asim	200.00	CUMPLE	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	73.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29	E-C-E Asim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	80.00	CUMPLE	NO CUMPLE					

El Diseño Geométrico del trayecto 6, para la velocidad real de diseño de 50km/h presenta un porcentaje considerable de curvas en las cuales el radio de diseño es menor al mínimo estipulado por el INVIAS y aun más crítico para la velocidad teórica mínima de diseño de 80km/h donde el porcentaje es muy cercano al 100% como se indica en la siguiente tabla. (ver tabla 38)

Tabla 38. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen radio mínimo

Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
		Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
Derecha	29	**6**	**20.69**	**27**	**93.10**
Izquierda	30	**6**	**20.00**	**29**	**96.67**
Derecha	23	**16**	**69.57**	**22**	**95.65**
Izquierda	23	**16**	**69.57**	**23**	**100.00**
Derecha	7	**0**	**0.00**	**6**	**85.71**

- 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.

$$S = n * \frac{32}{R} \qquad [11]$$

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°."[40]

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 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 efectuará para curvas horizontales que presenten una deflexión total mayor a 120 grados $\Delta > 120^{\circ}$ y radios R menores a 117 metros así. El procedimiento de análisis se indica a continuación entendiendo su aplicabilidad a los demás trayectos en estudio. (ver tabla 39)

[40] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 73 - 75

Tabla 39. Chequeo sobreancho curvas horizontales T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo empalme	Deflexión total (ΔT>120˚)	Radio R≤ 117m	Sobreancho existente (m)	Sobreancho minimo calculado (m)	Sexistente ≥ Scalculado
1	E-C-E Asim		106.90	0.00	0.6	NO CUMPLE
2	E-C-E Asim		120.00	0.00	0.5	NO APLICA
3	E-C-E Sim		90.00	0.00	0.7	NO CUMPLE
4	E-E Sim		112.51	0.00	0.6	NO CUMPLE
5	E-C-E Asim		95.00	0.00	0.7	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim		73.00	0.00	0.9	NO CUMPLE
7	E-C-E Asim		73.00	0.00	0.9	NO CUMPLE
8	E-E Sim		573.02	0.00	0.1	NO APLICA
9	E-C-E Asim		120.00	0.00	0.5	NO APLICA
10	E-C-E ASim	169˚27'59"D	68.50	0.00	0.9	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	177˚21'46"I	88.90	0.00	0.7	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim		73.00	0.00	0.9	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim		73.00	0.00	0.9	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim		73.00	0.00	0.9	NO CUMPLE
17	E-C-E Sim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
18	E-C-E Sim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
19	E-C-E Sim		113.60	0.00	0.6	NO CUMPLE
20	E-E Sim		93.02	0.00	0.7	NO CUMPLE
21	E-E Sim		170.01	0.00	0.4	NO APLICA
22	E-C-E Sim		400.00	0.00	0.2	NO APLICA
23	E-C-E Sim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
24	E-C-E Sim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE
25	E-E Sim		124.27	0.00	0.5	NO APLICA
26	E-E Sim		184.01	0.00	0.3	NO APLICA
27	E-C-E Asim		140.10	0.00	0.5	NO APLICA
28	E-C-E Asim		200.00	0.00	0.3	NO APLICA
29	E-C-E Asim		80.00	0.00	0.8	NO CUMPLE

En el diseño geométrico del trayecto 6, ninguna de las curvas horizontales cuenta con sobreancho. Debido a que el sobreancho mínimo que constructivamente es adecuado corresponde a 0.6 m valores correspondientes a radios no mayores a 117m para lo cual el porcentaje de curvas que no cumplen con este parámetro se especifican a continuación. (ver tabla 40)

Tabla 40. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen sobreancho mínimo y sobreanchos que constructivamente no aplica

Total de Curvas Analizadas	Chequeo para curvas que no cumple Sobreancho mínimo		Chequeo para curvas que constructivamente no aplica	
	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no aplica	Porcentaje de curvas no aplica
29	20	68.97	9	31.03
30	11	36.67	19	63.33
23	20	86.96	3	13.04
23	5	21.74	18	78.26
7	1	14.29	6	85.71

- 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:

$$M = R_1 \left(1 - cos\left(\frac{28.65 * DVP}{R1}\right)\right) \quad [12]$$

$$R_1 = R - S - \frac{C}{4} \quad [13]$$

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)"[41]

Para el presente análisis, se presenta el procedimiento de cálculo para un trayecto en particular, los resultados obtenidos no son comparables con ningún valor de referencia, por lo cual el cálculo se hace a manera de indicación respecto a que valores de flecha M presenta el diseño actual. (ver tabla 41)

Tabla 41. Chequeo flecha M curvas horizontales T6_1 calzada derecha

PI No.	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 Asim	106.90	0.0	7.3	105.08	67.86	5.43
2	E-C-E Asim	120.00	0.0	7.3	118.18	77.14	6.24
3	E-C-E Sim	90.00	0.0	7.3	88.18	65.84	6.08
4	E-E Sim	112.51	0.0	7.3	110.69	89.54	8.93
5	E-C-E Asim	95.00	0.0	7.3	93.18	63.40	5.34
6	E-C-E Asim	73.00	0.0	7.3	71.18	64.69	7.22
7	E-C-E Asim	73.00	0.0	7.3	71.18	64.51	7.19
8	E-E Sim	573.02	0.0	7.3	571.20	227.55	11.30
9	E-C-E Asim	120.00	0.0	7.3	118.18	82.94	7.20
10	E-C-E Asim	68.50	0.0	7.3	66.68	78.71	11.28
11	E-C-E Sim	88.90	0.0	7.3	87.08	66.49	6.27
12	E-C-E Sim	80.00	0.0	7.3	78.18	60.39	5.76
13	E-C-E Sim	73.00	0.0	7.3	71.18	92.00	14.36
14	E-C-E Sim	73.00	0.0	7.3	71.18	73.36	9.25
15	E-C-E Asim	80.00	0.0	7.3	78.18	69.44	7.59
16	E-C-E Asim	73.00	0.0	7.3	71.18	57.76	5.78
17	E-C-E Sim	80.00	0.0	7.3	78.18	67.50	7.17
18	E-C-E Sim	80.00	0.0	7.3	78.18	62.91	6.24
19	E-C-E Sim	113.60	0.0	7.3	111.78	77.82	6.71
20	E-E Sim	93.02	0.0	7.3	91.20	71.35	6.89
21	E-E Sim	170.01	0.0	7.3	168.19	108.92	8.74
22	E-C-E Sim	400.00	0.0	7.3	398.18	151.00	7.14
23	E-C-E Sim	80.00	0.0	7.3	78.18	62.90	6.24
24	E-C-E Sim	80.00	0.0	7.3	78.18	61.98	6.06
25	E-E Sim	124.27	0.0	7.3	122.45	91.06	8.37
26	E-E Sim	184.01	0.0	7.3	182.19	107.65	7.89
27	E-C-E Asim	140.10	0.0	7.3	138.28	91.04	7.43
28	E-C-E Asim	200.00	0.0	7.3	198.18	101.82	6.50
29	E-C-E Asim	80.00	0.0	7.3	78.18	87.94	12.04

El análisis anterior se presenta como referencia para el estudio de la flecha M en curvas horizontales del trayecto 6, 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. Este es de gran importancia ya que está relacionado con la seguridad de quienes transiten por la vía y se debe garantizar durante los procesos constructivo (principalmente en

[41] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 76 - 77

taludes), de señalización y en general durante las etapas de operación y mantenimiento de la carretera (garantizando que esta franja de terreno lateral esté libre de obstáculos que limiten la visibilidad).

- 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 adecuado, modificar el ancho de la calzada y realzar la estética de la vía."[42]

* *Empalme Espiral – Círculo – Espiral*: Corresponde al empalme de dos líneas rectas mediante arcos de transición y un arco circular de radio único definido (R1 = R2). En el caso de tener parámetros A1 y A2 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:

$$A^2 = R * l \qquad [14]$$

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 procedimiento de análisis: (ver tabla 42)

[42] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 78
[43] Ibíd., p. 92

Tabla 42. Chequeo longitud circular mínima T6 – 1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Lc Existente (m)	Vd = 50 Km/h LcExistente≥Lcmín; Lcmín = 13.9m	Vd = 80 Km/h LcExistente≥Lcmín; Lcmín = 22.2m	PI No.	Tipo de empalme	Lc Existente (m)	Vd = 50 Km/h LcExistente≥Lcmín; Lcmín = 13.9m	Vd = 80 Km/h LcExistente≥Lcmín; Lcmín = 22.2m
1	E-C-E Asim	115.03	CUMPLE	CUMPLE	16	E-C-E Asim	45.17	CUMPLE	CUMPLE
2	E-C-E Asim	96.12	CUMPLE	CUMPLE	17	E-C-E Sim	59.45	CUMPLE	CUMPLE
3	E-C-E Sim	39.11	CUMPLE	CUMPLE	18	E-C-E Sim	32.53	CUMPLE	CUMPLE
4	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA	19	E-C-E Sim	49.96	CUMPLE	CUMPLE
5	E-C-E Asim	13.57	NO CUMPLE	NO CUMPLE	20	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA
6	E-C-E Asim	57.71	CUMPLE	CUMPLE	21	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA
7	E-C-E Asim	62.25	CUMPLE	CUMPLE	22	E-C-E Sim	45.17	CUMPLE	CUMPLE
8	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA	23	E-C-E Sim	48.02	CUMPLE	CUMPLE
9	E-C-E Asim	27.66	CUMPLE	CUMPLE	24	E-C-E Sim	9.95	NO CUMPLE	NO CUMPLE
10	E-C-E Asim	130.98	CUMPLE	CUMPLE	25	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA
11	E-C-E Sim	232.77	CUMPLE	CUMPLE	26	E-E Sim	0.00	NO APLICA	NO APLICA
12	E-C-E Sim	62.41	CUMPLE	CUMPLE	27	E-C-E Asim	31.41	CUMPLE	CUMPLE
13	E-C-E Sim	6.01	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28	E-C-E Asim	161.09	CUMPLE	CUMPLE
14	E-C-E Sim	23.67	CUMPLE	CUMPLE	29	E-C-E Asim	45.33	CUMPLE	CUMPLE
15	E-C-E Asim	44.60	CUMPLE	CUMPLE					

Los porcentajes de las curvas horizontales con empalme Espiral – Circulo – Espiral que presentan una longitud circular menor a la mínima para el diseño geométrico del Trayecto 6 se relacionan en la siguiente tabla tanto para la velocidad real como para la velocidad teórica mínima. (ver tabla 43)

Tabla 43. Curvas horizontales con empalme E-C-E trayecto 6 no cumplen longitud circular mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Empalme E-C-E Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	23	3	13.04	3	13.04
	Izquierda	22	3	13.64	4	18.18
T6-2	Derecha	19	0	0.00	4	21.05
	Izquierda	19	1	5.26	4	21.05
T6-4	Derecha	4	0	0.00	0	0.00

- Empalme espiral –espiral. "Corresponde al empalme de dos líneas rectas mediante dos ramas de espiral de radio único definido (R1 = R2). Para este caso:

$$\theta e1 + \theta e2 = \Delta \quad [15]$$

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 presenta el siguiente análisis para el T6-1 Calzada Derecha. (ver tabla 44)

[44] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 93

Tabla 44. Chequeo deflexión ΔT y ángulo θe T6 – 1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Deflexión total existente (ΔT)	Angulo Espiral existente (θe)	Chequeo ΔT ≤ 20 °	Chequeo θe ≤ 10 °
4	E-E Sim	20°22'9"D	10°11'5"	NO CUMPLE	NO CUMPLE
8	E-E Sim	7°59'57"D	3°59'59"	CUMPLE	CUMPLE
20	E-E Sim	30°47'49"I	15°23'55"	NO CUMPLE	NO CUMPLE
21	E-E Sim	16°51'3"D	8°25'32"	CUMPLE	CUMPLE
25	E-E Sim	20°44'49"D	10°22'25"	NO CUMPLE	NO CUMPLE
26	E-E Sim	14°0'43"I	7°0'22"	CUMPLE	CUMPLE

Los porcentajes de las curvas horizontales con empalme Espiral – Espiral que superan las limitaciones de deflexiones para ser diseñadas como tal para el diseño geométrico del Trayecto 6 se relacionan en la siguiente tabla. (ver tabla 45)

Tabla 45. Curvas horizontales con empalme E-E trayecto 6 no cumplen con deflexiones máximas

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Empalme E-E Analizadas	Chequeo para curvas que NO CUMPLE con ΔT ≤ 20 ° ^ θe ≤ 10 °	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	6	3	50.00
	Izquierda	8	3	37.50
T6-2	Derecha	4	1	25.00
	Izquierda	3	0	0.00
T6-4	Derecha	3	0	0.00

- 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:

$$Amín = \sqrt{\frac{Ve * R}{46.656 * J}\left(\frac{Ve^2}{R} - 1.27(e)\right)}$$ [16]

- ✓ 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 (Δs). 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.

$$Amín = \sqrt{R * \frac{e * a}{\Delta s}} \quad [17]$$

- ✓ 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.

$$Amín \geq \sqrt[4]{6 * R^3} \quad [18]$$

- Criterio III.2. Angulo de giro de la espiral mínimo de 3 grados, θe ≥ 3 grados

$$Amín = 0.3236 * R \quad [19]$$

Donde:

Amín: Parámetro mínimo, (m)

Ve: Velocidad específica, (km/h)

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

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

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 (Amáx), 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 procedimiento de análisis de longitud mínima y máxima teórica de espiral para un trayecto, con respecto a la longitud de espiral existente a partir del parámetro Amín y Amáx. (ver tabla 46)

Tabla 46. Chequeo longitud espiral lemín y lemáx (velocidad real de diseño)
T6 – 1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le existente (m)	Criterio I A min (m)	Criterio II A min (m)	Criterio III1 A min (m)	Criterio III2 A min (m)	Envolvente superior A min (m)	A max (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo Lemin≤Le≤Lemax
1	E-C-E Asim	7.4	106.90	35.00	47.85	61.24	52.03	34.59	61.24	117.59	35.08	129.35	NO CUMPLE
				35.05	47.85	61.24	52.03	34.59	61.24	117.59	35.08	129.35	NO CUMPLE
2	E-C-E Asim	-	120.00	31.23	-	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	NO CUMPLE
				30.00	-	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	NO CUMPLE
3	E-C-E Sim	7.8	90.00	40.00	49.62	57.69	45.73	29.12	57.69	99.00	36.97	108.90	CUMPLE
4	E-E Sim	7.4	112.51	40.00	47.00	62.82	54.07	36.41	62.82	123.76	35.08	136.14	CUMPLE
5	E-C-E Asim	7.8	95.00	40.00	48.85	59.27	47.62	30.74	59.27	104.50	36.97	114.95	CUMPLE
				38.80	48.85	59.27	47.62	30.74	59.27	104.50	36.97	114.95	CUMPLE
6	E-C-E Asim	8.0	73.00	50.49	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
				38.25	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
7	E-C-E Asim	8.0	73.00	38.25	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
				45.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
8	E-E Sim	2.0	573.02	80.00	39.99	73.71	183.30	185.43	185.43	630.32	60.00	693.35	CUMPLE
9	E-C-E Asim	8.0	120.00	65.00	44.28	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	CUMPLE
				47.03	44.28	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	CUMPLE
10	E-C-E Asim	8.0	68.50	82.40	52.55	50.97	37.27	22.17	52.55	75.35	40.32	82.89	CUMPLE
				60.86	52.55	50.97	37.27	22.17	52.55	75.35	40.32	82.89	CUMPLE
11	E-C-E Sim	8.0	88.90	42.43	49.44	58.06	45.31	28.77	58.06	97.79	37.92	107.57	CUMPLE
12	E-C-E Sim	8.0	80.00	35.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	8.0	80.00	45.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
				30.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
				40.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
17	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
18	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
19	E-C-E Sim	7.4	113.60	40.00	46.83	63.13	54.46	36.76	63.13	124.96	35.08	137.46	CUMPLE
20	E-E Sim	7.8	93.02	50.00	49.16	58.65	46.88	30.10	58.65	102.32	36.97	112.55	CUMPLE
21	E-E Sim	7.8	170.01	50.00	35.34	79.28	73.69	55.02	79.28	187.01	36.97	205.71	CUMPLE
22	E-C-E Sim	3.6	400.00	70.00	32.06	82.62	139.99	129.44	139.99	440.00	48.99	484.00	CUMPLE
23	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
24	E-C-E Sim	8.0	80.00	35.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
25	E-E Sim	7.0	124.27	45.00	46.22	64.21	58.25	40.21	64.21	136.70	33.18	150.37	CUMPLE
26	E-E Sim	7.0	184.01	45.00	36.37	78.14	78.19	59.55	78.19	202.41	33.23	222.65	CUMPLE
27	E-C-E Asim	7.0	140.10	58.03	43.82	68.18	63.73	45.34	68.18	154.11	33.18	169.52	CUMPLE
				58.03	43.82	68.18	63.73	45.34	68.18	154.11	33.18	169.52	CUMPLE
28	E-C-E Asim	5.6	200.00	70.00	40.62	72.86	83.24	64.72	83.24	220.00	34.64	242.00	CUMPLE
				39.42	40.62	72.86	83.24	64.72	83.24	220.00	34.64	242.00	CUMPLE
29	E-C-E Asim	8.0	80.00	98.54	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
				35.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE

[45] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 88 - 91

El diseño geométrico del trayecto 6 para la velocidad real de diseño de 50km/h presenta un porcentaje considerable de curvas espirales en las cuales la longitud de espiral Le de diseño está por debajo al Le mínimo ó por encima al Le máximo calculados a partir del parámetro Amín ^ Amáx y aún más crítico para la velocidad teórica mínima de diseño de 80km/h donde el porcentaje es muy cercano e incluso igual al 100% como se indica en la siguiente tabla. (ver tabla 47)

Tabla 47. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de espiral Le

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	29	9	31.03	27	93.10
	Izquierda	30	10	33.33	29	96.67
T6-2	Derecha	23	17	73.91	23	100.00
	Izquierda	23	15	65.22	23	100.00
T6-4	Derecha	7	4	57.14	7	100.00

- 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:

$$e + ft = \frac{V^2}{127\ R} \qquad [20]$$

Donde:

e : Peralte en metros por metro

ft : Coeficiente de fricción lateral

V : Velocidad del vehículo, (km/h)

R : Radio de la curva, (m)"[46]

[46] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p 65

“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 ft, está determinado por numerosos factores, como estado de las superficies en contacto, velocidad del vehículo, presión de inflado etc. El valor de ft, se determina en función de la velocidad específica, tal como se muestra en la Tabla 36.

Debido a la falta de información en cuanto a velocidades especificas 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 especifica que se encuentre dentro del rango permitido de acuerdo al criterio de consistencia enunciado en el Manual del INVIAS año 1998. 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 80 km/h, de tal manera, que el peralte será adecuado (CUMPLE) siempre y cuando se asocie una velocidad comprendida en el rango anteriormente determinado como se indica en el siguiente cuadro de cálculo para el trayecto T6_1 Calzada Derecha. (ver tabla 48)

[47] Ibíd., p. 66

Tabla 48. Chequeo de peralte asociado a la velocidad especifica T6 - 1 calzada derecha

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica V (m/s)	Radio R (m)	Radio Mínimo Rmín (m)	Peralte Máximo emáx (%)	Peralte e% (Diseño)	Peralte e% (Teórico)	Chequeo
1	E-C-E Asim	55.00	106.90	100.00	8.00	7.40	7.48	CUMPLE
2	E-C-E Asim	60.00	120.00	120.00	8.00	-	-	-
3	E-C-E Sim	52.00	90.00	88.00	8.00	7.80	7.82	CUMPLE
4	E-E Sim	56.00	112.51	104.00	8.00	7.40	7.39	CUMPLE
5	E-C-E Asim	53.00	95.00	92.00	8.00	7.80	7.75	CUMPLE
6	E-C-E Asim	50.00	73.00	80.00	8.00	8.00	8.77	OBSERVACIÓN*
7	E-C-E Asim	50.00	73.00	80.00	8.00	8.00	8.77	OBSERVACIÓN*
8	E-E Sim	85.00	573.02	147.50	8.00	2.00	2.06	NO CUMPLE
9	E-C-E Asim	60.00	120.00	120.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
10	E-C-E Asim	50.00	68.50	80.00	8.00	8.00	9.34	OBSERVACIÓN*
11	E-C-E Sim	52.00	88.90	88.00	8.00	8.00	7.92	CUMPLE
12	E-C-E Sim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
13	E-C-E Sim	50.00	73.00	80.00	8.00	8.00	8.77	OBSERVACIÓN*
14	E-C-E Sim	50.00	73.00	80.00	8.00	8.00	8.77	OBSERVACIÓN*
15	E-C-E Asim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
16	E-C-E Asim	50.00	73.00	80.00	8.00	8.00	8.77	OBSERVACIÓN*
17	E-C-E Sim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
18	E-C-E Sim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
19	E-C-E Sim	56.00	113.60	104.00	8.00	7.40	7.32	CUMPLE
20	E-E Sim	53.00	93.02	92.00	8.00	7.80	7.91	CUMPLE
21	E-E Sim	69.00	170.01	163.50	8.00	7.80	7.69	CUMPLE
22	E-C-E Sim	77.00	400.00	185.00	8.00	3.60	3.70	CUMPLE
23	E-C-E Sim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
24	E-C-E Sim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE
25	E-E Sim	58.00	124.27	110.00	8.00	7.00	7.08	CUMPLE
26	E-E Sim	69.00	184.01	163.50	8.00	7.00	7.11	CUMPLE
27	E-C-E Asim	61.00	140.10	125.00	8.00	7.00	7.14	CUMPLE
28	E-C-E Asim	65.00	200.00	137.50	8.00	5.60	5.50	CUMPLE
29	E-C-E Asim	50.00	80.00	80.00	8.00	8.00	8.00	CUMPLE

Los valores de radio menores a 80 m no se analizan debido a que están asociados a velocidades especificas por debajo de la real de diseño, en este caso correspondiente a 50 km/h; además, ocasiona que el análisis del peralte en curvas horizontales asociado a una velocidad especifica que no cumpla con este parámetro, genere problemas de funcionalidad y operatividad en el diseño del trayecto 6.

A partir del análisis de peralte en curvas horizontales espiralizadas del trayecto 6 asociado a la velocidad específica, se determina que la gran mayoría de estas cumplen con este parámetro, obteniéndose porcentajes muy bajos de curvas que no cumplen; para el cálculo de porcentajes en la tabla siguiente se harán con base al número de curvas analizadas (radios no menores de 80m) tal como se muestra a continuación: (ver tabla 49)

Tabla 49. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen peralte asociado a velocidad específica

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para curvas con radio Superior a 80m	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	22	1	4.55
	Izquierda	24	1	4.17
T6-2	Derecha	7	0	0.00
	Izquierda	7	0	0.00
T6-4	Derecha	7	1	14.29

- **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 determinación numérica de la longitud de transición se establece mediante la relación:

$$Lt = Le + X\ (m) \qquad [21]$$

El valor de X se determina mediante la ecuación siguiente:

$$X = \frac{BN * Le}{e} \qquad [22]$$

Donde:

Lt: Longitud de transición, (m)

Le: Longitud de espiral, (m)

48 INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p 67

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

BN: Bombeo Normal (%)

e: Peralte (%)

Para el diseño, se evaluará las longitudes de transición de peralte para cada empalme presente en los trayectos T6-1, T6-2 y T6-4, verificando que estas sean adecuadas al proyecto en estudio. Además, teniendo en cuenta que el proyecto se ubica en un terreno montañoso en los trayectos T6-1 y T6-2, mientras en el trayecto T6-4 el terreno predominante es el ondulado, por lo tanto la longitud de transición corresponde a la longitud de la espiral más la distancia requerida para levantar el borde externo del bombeo normal a la nivelación con el eje. A continuación se presenta el análisis para el trayecto T6_1 Calzada Derecha, entendiendo su aplicabilidad a los demás trayectos en estudio: (ver tabla 50)

Tabla 50. Longitud de transición T6 - 1 calzada derecha

PI No.	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Le	Valor Le (m)	Longitud Transición Teórica Lt (m)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	Chequeo Ltd ≥ Lt
1	E-C-E Asim	7.40	1	35.00	44.46	44.46	CUMPLE
			2	35.05	44.52	44.52	CUMPLE
2	E-C-E Asim	-	1	31.23	-	-	-
			2	30.00	-	-	-
3	E-C-E Sim	7.80	1	40.00	50.26	50.26	CUMPLE
4	E-E Sim	7.40	1	40.00	50.81	44.46	NO CUMPLE
5	E-C-E Asim	7.80	1	40.00	50.26	50.26	CUMPLE
			2	38.80	48.75	48.75	CUMPLE
6	E-C-E Asim	8.00	1	50.49	63.11	63.11	CUMPLE
			2	38.25	47.81	47.81	CUMPLE
7	E-C-E Asim	8.00	1	38.25	47.81	47.81	CUMPLE
			2	45.00	56.25	47.81	NO CUMPLE
8	E-E Sim	2.00	1	80.00	160.00	107.14	NO CUMPLE
9	E-C-E Asim	8.00	1	65.00	81.25	81.25	CUMPLE
			2	47.03	58.79	80.89	CUMPLE
10	E-C-E Asim	8.00	1	82.40	103.00	80.89	NO CUMPLE
			2	60.86	76.08	67.10	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	8.00	1	42.43	53.04	53.04	CUMPLE
12	E-C-E Sim	8.00	1	35.00	43.75	43.75	CUMPLE
13	E-C-E Sim	8.00	1	30.00	37.50	37.50	CUMPLE
14	E-C-E Sim	8.00	1	30.00	37.50	37.50	CUMPLE
15	E-C-E Asim	8.00	1	45.00	56.25	56.25	CUMPLE
			2	30.00	37.50	37.56	CUMPLE
16	E-C-E Asim	8.00	1	30.00	37.50	37.56	CUMPLE
			2	40.00	50.00	54.17	CUMPLE
17	E-C-E Sim	8.00	1	40.00	50.00	50.00	CUMPLE
18	E-C-E Sim	8.00	1	40.00	50.00	50.00	CUMPLE
19	E-C-E Sim	7.40	1	40.00	50.81	50.81	CUMPLE
20	E-E Sim	7.80	1	50.00	62.82	56.54	NO CUMPLE
21	E-E Sim	7.80	1	50.00	62.82	59.52	NO CUMPLE
22	E-C-E Sim	3.60	1	70.00	108.89	108.89	CUMPLE
23	E-C-E Sim	8.00	1	40.00	50.00	50.00	CUMPLE
24	E-C-E Sim	8.00	1	35.00	43.75	43.75	CUMPLE
25	E-E Sim	7.00	1	45.00	57.86	51.43	NO CUMPLE
26	E-E Sim	7.00	1	45.00	57.86	53.33	NO CUMPLE
27	E-C-E Asim	7.00	1	58.03	74.61	81.58	CUMPLE
			2	58.03	78.76	75.10	NO CUMPLE
28	E-C-E Asim	5.60	1	70.00	95.00	95.00	CUMPLE
			2	39.42	53.50	53.50	CUMPLE
29	E-C-E Asim	8.00	1	98.54	123.18	43.75	NO CUMPLE
			2	35.00	43.75	43.75	CUMPLE

De lo anterior, se identificó que las curvas horizontales del trayecto 6 presentan un porcentaje apreciable de longitudes de transición inadecuadas, principalmente en el tipo de empalme E-E simétrica, de las cuales a partir de la tabla siguiente se determina que ninguna cumple; mientras que para curvas con empalme E-C-E este parámetro es más adecuado con porcentaje de curvas no cumplen menor. (ver tabla 51)

Tabla 51. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de transición

Trayecto	Calzada	Total de Curvas analizadas	Chequeo longitud de transición empalme E-E			Chequeo longitud de transición empalme E-C-E			Total porcentaje Curvas no cumplen
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple respecto al total	Porcentaje de curvas no cumple respecto al total tipo E-E	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple respecto al total	Porcentaje de curvas no cumple respecto al total tipo E-C- E	
T6-1	Derecha	28	6	21.43	100.00	4	14.29	18.18	35.71
	Izquierda	30	8	26.67	100.00	3	10.00	13.64	36.67
T6-2	Derecha	23	3	13.04	100.00	4	17.39	20.00	30.43
	Izquierda	23	3	13.04	100.00	3	13.04	15.00	26.09
T6-4	Derecha	7	3	42.86	100.00	0	0.00	0.00	42.86

- **Rampa de peraltes**

"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:

$$\Delta s = \frac{ef - ei}{L} * a \qquad [23]$$

Donde:

Δs: Inclinación 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

La Tabla 52, 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."[49]

A continuación, 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, provocara 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 tabla 52)

[49] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 69

Tabla 52. Rampa de peralte T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño)

PI No.	Tipo de Empalme	Longitud Transición Lt (m)	L (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo	Observaciones
1	E-C-E Asim	44.46	35.00	7.40	3.65	0.77	0.77	0.37	CUMPLE	
		44.52	35.05		3.65	0.77	0.77	0.37	CUMPLE	
2	E-C-E Asim	-	-	-	3.65	-	0.77	0.37	-	
		-	-		3.65	-	0.77	0.37	-	
3	E-C-E Sim	50.26	40.00	7.80	3.65	0.71	0.77	0.37	CUMPLE	
4	E-E Sim	44.46	35.00	7.40	3.65	0.77	0.77	0.37	CUMPLE	
5	E-C-E Asim	50.26	40.00	7.80	3.65	0.71	0.77	0.37	CUMPLE	
		48.75	38.80		3.65	0.73	0.77	0.37	CUMPLE	
6	E-C-E Asim	63.11	50.49	8.00	3.65	0.58	0.77	0.37	CUMPLE	
		47.81	38.25		3.65	0.76	0.77	0.37	CUMPLE	
7	E-C-E Asim	47.81	38.25	8.00	3.65	0.76	0.77	0.37	CUMPLE	
		47.81	38.25		3.65	0.76	0.77	0.37	CUMPLE	
8	E-E Sim	107.14	53.57	2.00	3.65	0.14	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
9	E-C-E Asim	81.25	65.00	8.00	3.65	0.45	0.77	0.37	CUMPLE	
		80.89	64.71		3.65	0.45	0.77	0.37	CUMPLE	
10	E-C-E Asim	80.89	64.71	8.00	3.65	0.45	0.77	0.37	CUMPLE	
		67.10	53.68		3.65	0.54	0.77	0.37	CUMPLE	
11	E-C-E Sim	53.04	42.43	8.00	3.65	0.69	0.77	0.37	CUMPLE	
12	E-C-E Sim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
13	E-C-E Sim	37.50	30.00	8.00	3.65	0.97	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
14	E-C-E Sim	37.50	30.00	8.00	3.65	0.97	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
15	E-C-E Asim	56.25	45.00	8.00	3.65	0.65	0.77	0.37	CUMPLE	
		37.56	30.05		3.65	0.97	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
16	E-C-E Asim	37.56	30.05	8.00	3.65	0.97	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
		54.17	43.34		3.65	0.67	0.77	0.37	CUMPLE	
17	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	0.77	0.37	CUMPLE	
18	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	0.77	0.37	CUMPLE	
19	E-C-E Sim	50.81	40.00	7.40	3.65	0.68	0.77	0.37	CUMPLE	
20	E-E Sim	56.54	45.00	7.80	3.65	0.63	0.77	0.37	CUMPLE	
21	E-E Sim	59.52	47.37	7.80	3.65	0.60	0.77	0.37	CUMPLE	
22	E-C-E Sim	108.89	70.00	3.60	3.65	0.19	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
23	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	0.77	0.37	CUMPLE	
24	E-C-E Sim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
25	E-E Sim	51.43	40.00	7.00	3.65	0.64	0.77	0.37	CUMPLE	
26	E-E Sim	53.33	41.48	7.00	3.65	0.62	0.77	0.37	CUMPLE	
27	E-C-E Asim	81.58	63.45	7.00	3.65	0.40	0.77	0.37	CUMPLE	
		75.10	58.41		3.65	0.44	0.77	0.37	CUMPLE	
28	E-C-E Asim	95.00	70.00	5.60	3.65	0.29	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
		53.50	39.42		3.65	0.52	0.77	0.37	CUMPLE	
29	E-C-E Asim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada
		43.75	35.00		3.65	0.83	0.77	0.37	NO CUMPLE	Longitud de transición Inadecuada

El diseño geométrico del trayectos 6 para la velocidad real de diseño de 50km/h presenta un porcentaje considerable de curvas espirales en las cuales la Rampa de Peralte Δs de diseño está por fuera del rango comprendido entre la $\Delta s máx.$ y $\Delta s mín.$ determinados por el INVIAS en su manual del año 1998 y aún más critico para la velocidad teórica mínima de diseño de 80km/h donde el porcentaje es muy cercano e incluso igual al 100% como se indica en la siguiente tabla. (ver tabla 53)

Tabla 53. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen rampa de peralte

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	28	10	35.71	26	92.86
	Izquierda	30	10	33.33	27	90.00
T6-2	Derecha	23	10	43.48	23	100.00
	Izquierda	23	15	65.22	23	100.00
T6-4	Derecha	7	3	42.86	6	85.71

- **Entretangencia horizontal**

"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.

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 máxima de tangente (m) = 15 veces velocidad específica menor (km/h)."[50]

A continuación, se presenta el análisis de entretangencia horizontal para un Trayecto particular, indicando el procedimiento de cálculo, el cual es aplicable a los demás trayectos y sus calzadas respectivas (derecha y/o izquierda). (ver tabla 54)

[50] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 64

Tabla 54. Longitud entretangencia horizontal T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño)

Entretangencia Número	Entretangencia existente (m)	Tipo de curvas adyacentes	Curvas adyacentes "del mismo sentido"	Vd (km/h)	Entretangencia teórica minima (m)	Entretangencia teórica máxima (m)	Observación
1	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
2	33.51	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
3	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
4	45.66	Espirales	SI	50	69.44	750.00	NO CUMPLE
5	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
6	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
7	127.21	Espirales	SI	50	69.44	750.00	CUMPLE
8	86.78	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
9	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
10	39.97	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
11	48.73	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
12	71.48	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
13	70.83	Espirales	SI	50	69.44	750.00	CUMPLE
14	132.14	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
15	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
16	67.85	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
17	145.31	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
18	210.79	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
19	39.73	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
20	28.60	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
21	537.49	Espirales	SI	50	69.44	750.00	CUMPLE
22	60.28	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
23	279.26	Espirales	SI	50	69.44	750.00	CUMPLE
24	33.96	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
25	3.55	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
26	20.58	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
27	163.29	Espirales	NO	50	0.00	750.00	CUMPLE
28	0.00	Espirales	NO	50	0.00	750.00	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. El análisis esta dado tanto para velocidad real de diseño como para velocidad teórica mínima a lo largo del Trayecto 6.

En cuanto al valor teórico máximo, ninguna entretangencia de las existentes en el diseño presenta problema. (ver tabla 55)

Tabla 55. Longitud entretangencias horizontales trayecto 6 no cumplen

Trayecto	Calzada	Total de entretangencias Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple	Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple
T6-1	Derecha	28	1	3.57	2	7.14
	Izquierda	29	1	3.45	2	6.90
T6-2	Derecha	23	2	8.70	3	13.04
	Izquierda	23	0	0.00	4	17.39
T6-4	Derecha	6	0	0.00	2	33.33

2.2.3 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 crítica. Se presentará un análisis de parámetros importantes que engloban el diseño en perfil de un proyecto seguro, cómodo, económico y funcional.

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

$$Y = \frac{A}{200L} X^2 \qquad [24]$$

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

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

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

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

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

E: Externa_ Ordenada vertical desde el PIV a la curva, que se determinará así:

$$E = \frac{A}{200L} \left(\frac{L}{2}\right)^2 \qquad [25]$$

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

Y: Ordenada vertical en cualquier punto (m)"[51]

[51] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.113

- 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]

En la tabla siguiente, se incluye las pendientes máximas recomendadas a utilizar en función del tipo de carretera, tipo de terreno y velocidad de diseño: (ver tabla 56)

"Tabla 56. Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño"[53]

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	-	-	-	-	-	-	4	3	3	3
	Ondulado	-	-	-	-	-	5	5	4	4	4
	Montañoso	-	-	-	-	-	6	6	5	5	5
	Escarpado	-	-	-	-	-	7	6	6	6	-
Carretera principal de una calzada	Plano	-	-	-	-	5	4	4	3	-	-
	Ondulado	-	-	-	6	6	5	5	4	-	-
	Montañoso	-	-	-	8	7	7	6	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	8	8	7	-	-	-	-
Carretera secundaria	Plano	-	-	7	7	7	6	-	-	-	-
	Ondulado	-	11	10	10	9	8	-	-	-	-
	Montañoso	-	12	11	11	10	-	-	-	-	-
	Escarpado	15	14	13	12	-	-	-	-	-	-
Carretera 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]

El análisis de pendientes, se efectúa para cada uno de los trayectos T6-1, T6-2 y T6-4 del proyecto en estudio con sus calzadas derecha e izquierda (según

[52] Ibíd., p. 107
[53] Ibíd., p. 108
[54] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.108

diseño), pero por motivos de practicidad a continuación se indica el procedimiento de cálculo para un trayecto en particular: (ver tabla 57)

Tabla 57. Pendiente diseño vertical T6-1 calzada derecha

Alineamiento Horizontal No.	Pendiente Existente m (%)	Vd = 50 Km/h $m_{Existente} \leq m_{máx}$; $m_{máx}$ = **	Vd = 80 Km/h $m_{Existente} \leq m_{máx}$; $m_{máx}$ = 6%	Alineamiento Horizontal No.	Pendiente Existente m (%)	Vd = 50 Km/h $m_{Existente} \leq m_{máx}$; $m_{máx}$ = **	Vd = 80 Km/h $m_{Existente} \leq m_{máx}$; $m_{máx}$ = 6%
1	-7,869	*	NO CUMPLE	8	-6,610	*	NO CUMPLE
2	-5,134	*	CUMPLE	9	-8,183	*	NO CUMPLE
3	-6,898	*	NO CUMPLE	10	-6,931	*	NO CUMPLE
4	-9,139	*	NO CUMPLE	11	-8,781	*	NO CUMPLE
5	-6,917	*	NO CUMPLE	12	-5,224	*	CUMPLE
6	-5,895	*	CUMPLE	13	-7,372	*	NO CUMPLE
7	-9,513	*	NO CUMPLE				

Nota * y **: Debido a las características que presenta el diseño en cuanto a: categoría de la vía (Carretera Principal de Doble Calzada) y tipo de terreno predominante en el Trayecto 6 (Montañoso y Ondulado), el INVIAS en su manual del año 1998, no especifica pendiente máxima para una velocidad de 50km/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 80 km/h.

Teniendo en cuenta la anotación anterior, al efectuar el análisis de pendientes del diseño vertical para la velocidad teórica mínima de diseño de 80 km/h se puede determinar que este parámetro es inadecuado, en cuanto a número de entretangencias que no cumplen con altos porcentajes, que incluso superan el 50% asociados a cada trayecto, tal como se muestra en la tabla siguiente. (ver tabla 58)

Tabla 58. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen pendiente

Trayecto	Calzada	Total de Entretangencias Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple	Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple
T6-1	Derecha	15	-	-	10	66.67
	Izquierda	18	-	-	12	66.67
T6-2	Derecha	13	-	-	5	38.46
	Izquierda	17	-	-	6	35.29
T6-4	Derecha	9	-	-	7	77.78

- **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 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. En este caso por tratarse de una vía de doble calzada con dos sentidos de dirección, no tiene aplicación este análisis, dándose que el problema de tránsito lento no se presentara, de manera que no será objeto de estudio, sin dejar de resaltar la importancia del análisis de este aspecto en proyectos de carreteras que lo requieran.

[55] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.108

- 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 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]

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:

$$L = K * A \qquad [26]$$

En donde:

L: Longitud de la Curva Vertical, (m).

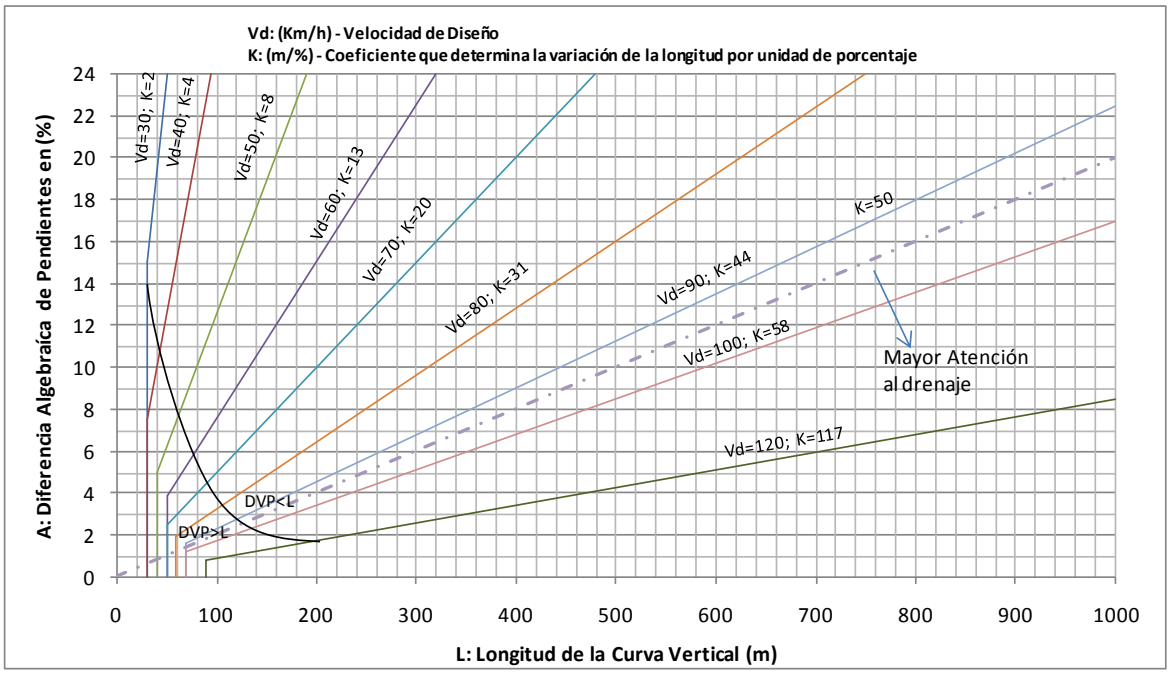
K: Factor que establece, para una determinada velocidad, condiciones óptimas de visibilidad y drenaje en el sector de la curva, (m/%).

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

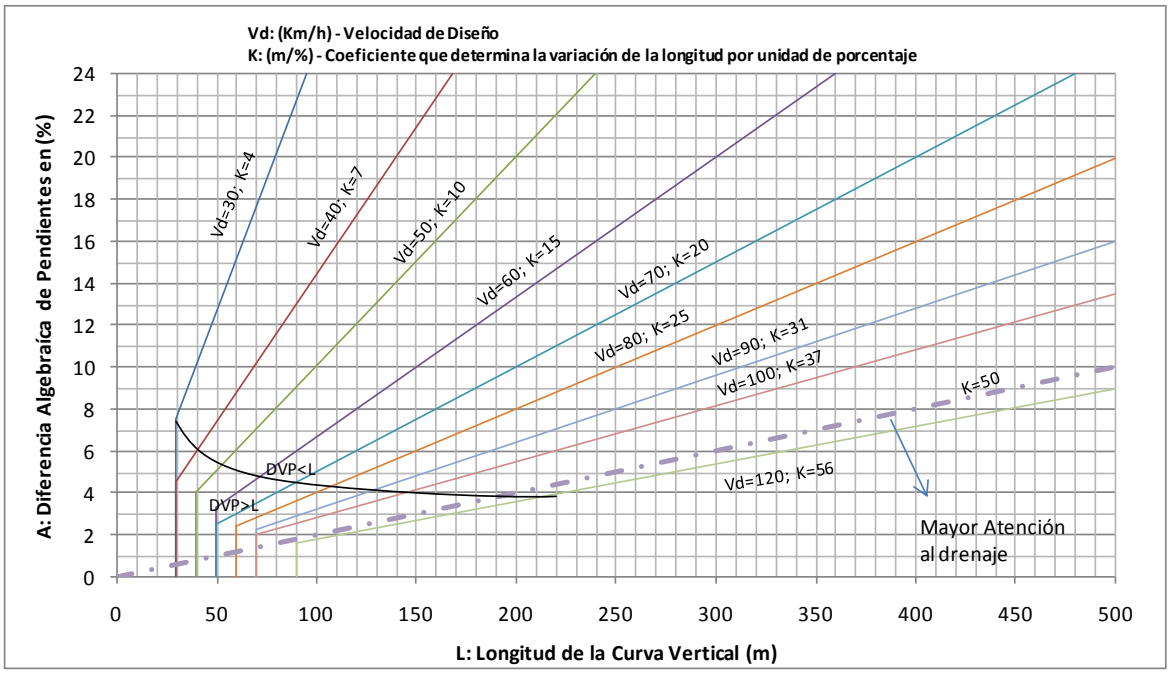
Las Gráficas 1 y 2 permiten la determinación de la longitud mínima, en función de la velocidad de diseño y la diferencia algebraíca de pendientes correspondiente.

[56] Ibíd., p.112

Gráfica 1. Longitudes y parámetros mínimos curvas verticales convexas



Gráfica 2. Longitudes y parámetros mínimos curvas verticales concavas



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 efectúa para uno de los trayectos: T6-1, T6-2 y T6-4 que conforman el proyecto en estudio, a continuación se presenta el procedimiento de cálculo empleado en el estudio de este parámetro: (ver tabla 59)

Tabla 59. Longitud mínima curvas verticales T6 - 1 calzada derecha (Vd real de diseño)

Curva No.	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	Velocidad (Km/h)	Longitud Minima Curva vertical Lm (m)	Longitud de la curva vertical L (m)	Chequeo L≥Lm
1	Convexa	-1,249	-7,869	6,620	50,00	52,96	100,00	CUMPLE
2	Cóncava	-7,869	-5,134	2,735	50,00	40,00	154,14	CUMPLE
3	Convexa	-5,134	-6,898	1,764	50,00	40,00	112,12	CUMPLE
4	Convexa	-6,898	-9,139	2,241	50,00	40,00	130,82	CUMPLE
5	Cóncava	-9,139	-6,910	2,229	50,00	40,00	151,32	CUMPLE
6	Cóncava	-6,910	-5,895	1,015	50,00	40,00	80,00	CUMPLE
7	Convexa	-5,895	-9,513	3,618	50,00	40,00	389,37	CUMPLE
8	Cóncava	-9,513	-6,610	2,903	50,00	40,00	328,04	CUMPLE
9	Convexa	-6,610	-8,183	1,573	50,00	40,00	139,27	CUMPLE
10	Cóncava	-8,183	-6,931	1,252	50,00	40,00	500,00	CUMPLE
11	Convexa	-6,931	-8,781	1,850	50,00	40,00	145,95	CUMPLE
12	Cóncava	-8,781	-5,224	3,557	50,00	40,00	118,40	CUMPLE
13	Convexa	-5,224	-7,372	2,148	50,00	40,00	100,00	CUMPLE
14	Cóncava	-7,372	-1,524	5,848	50,00	58,48	100,00	CUMPLE

Una vez efectuado el análisis de longitud mínima de curva del diseño vertical del trayecto 6, se establece que para la velocidad real de diseño este criterio se cumple satisfactoriamente acercándose mucho al 100%, mientras que para la velocidad teórica mínima de diseño se presentan porcentajes considerables de curvas que no cumplen. (ver tabla 60)

Tabla 60. Curvas verticales trayecto 6 no cumplen longitud mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50 Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	14	0	0.00	2.00	14.29
	Izquierda	17	0	0.00	6.00	35.29
T6-2	Derecha	12	1	8.33	9.00	75.00
	Izquierda	16	0	0.00	10.00	62.50
T6-4	Derecha	8	1	12.50	8.00	100.00

[57] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 119

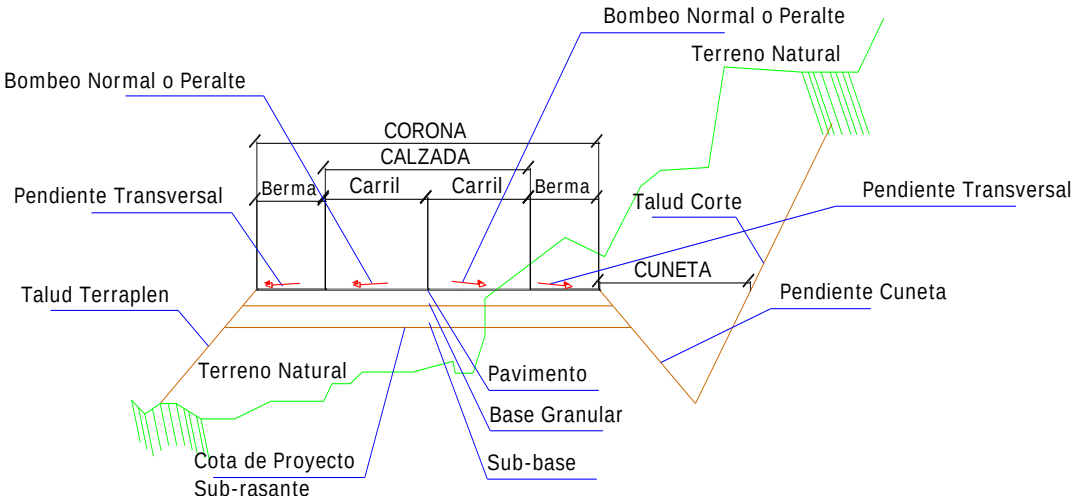
2.2.4 Sección transversal. "La sección transversal de una carretera en un punto de ésta es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el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

- 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 limitará a: ancho de zona, corona, calzada, bermas y carriles, debido a la información base con la que se cuenta.

"Figura 2. Sección transversal típica."[59]



[58] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.124

[59] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.124

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 61.

Tabla 61. Anchos de zona mínimos."[60]

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 dos calzadas con dos carriles en cada sentido de dirección, por lo tanto el ancho de zona mínimo debe ser mayor a 30m; para ello se toma medida de ancho de zona sobre planos en puntos aleatorios cuyo número sea representativo del tramo en estudio (de acuerdo con su longitud), verificando así el cumplimiento de este parámetro, a continuación se presenta el procedimiento de análisis para el presente estudio. (ver tabla 62)

Tabla 62. Ancho de zona sección transversal T6-1 calzada derecha

Abscisa	Ancho de Zona Teorico mínimo(m)	Ancho de Zona Diseño (m)	Chequeo	Abscisa	Ancho de Zona Teorico mínimo(m)	Ancho de Zona Diseño (m)	Chequeo
K0+000	≥ 30	59,60	CUMPLE	K4+200	≥ 30	49,45	CUMPLE
K0+400	≥ 30	52,90	CUMPLE	K4+300	≥ 30	49,82	CUMPLE
K0+620	≥ 30	52,90	CUMPLE	K4+400	≥ 30	50,19	CUMPLE
K1+100	≥ 30	51,80	CUMPLE	K4+500	≥ 30	66,71	CUMPLE
K1+400	≥ 30	49,90	CUMPLE	K4+850	≥ 30	49,90	CUMPLE
K1+850	≥ 30	49,90	CUMPLE	K5+100	≥ 30	48,47	CUMPLE
K2+200	≥ 30	49,90	CUMPLE	K5+200	≥ 30	48,50	CUMPLE
K2+400	≥ 30	63,79	CUMPLE	K5+400	≥ 30	49,95	CUMPLE
K2+550	≥ 30	82,21	CUMPLE	K5+500	≥ 30	49,91	CUMPLE
K2+700	≥ 30	51,11	CUMPLE	K5+600	≥ 30	49,90	CUMPLE
K3+050	≥ 30	48,90	CUMPLE	K5+800	≥ 30	49,90	CUMPLE
K3+250	≥ 30	49,30	CUMPLE	K5+900	≥ 30	49,90	CUMPLE
K3+500	≥ 30	48,90	CUMPLE	K6+400	≥ 30	60,22	CUMPLE
K3+600	≥ 30	48,90	CUMPLE	K6+500	≥ 30	58,40	CUMPLE
K3+850	≥ 30	48,90	CUMPLE	K6+600	≥ 30	56,57	CUMPLE
K4+000	≥ 30	49,08	CUMPLE	K6+685,48	≥ 30	55,00	CUMPLE

El diseño geométrico del trayecto 6, cumple satisfactoriamente con el criterio de ancho de zona mínimo, presentándose incluso valores de este parámetro muy

[60] Ibíd., p. 124

superiores a 30 m (valor determinado como mínimo) obteniéndose así un porcentaje de cumplimiento de este parámetro del 100% para todo el trayecto en estudio, tal como se muestra en la tabla siguiente. (ver tabla 63)

Tabla 63. Sección transversal trayecto 6 no cumplen ancho de zona

Trayecto	Calzada	Total de abscisas analizadas	Número de abscisas no cumple	Porcentaje de abscisas no cumple
T6-1	Derecha	32	0	0,00
	Izquierda	32	0	0,00
T6-2	Derecha	21	0	0,00
	Izquierda	20	0	0,00
T6-4	Derecha	16	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 hidroplaneo. 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 rodamiento en la Tabla 64, se suministran valores guía para emplearse en el proyecto. (ver tabla 64)

[61] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 125
[62] Ibíd., p. 125

Tabla 64. Bombeo de la calzada"[63]

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 ubicara como buena o muy buena. Además de lo anteriormente expuesto, el análisis no se efectúa porque 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 T6 (T6-1CD, T6-1CI, T6-2CD, T6-2CI y T6-4CD) 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] Dicho parámetro ya fue analizado en el desarrollo de este proyecto en el numeral 8.2.2.1.4.4

- **"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] En el numeral 8.2.2.1.4.4 se indicó el análisis correspondiente a la transición de peralte para el proyecto en estudio.

- **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.

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

[63] Ibíd., p. 126
[64] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 126
[65] Ibíd., p. 126

vertical. Normalmente el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal. En la Tabla 65, 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 65)

"Tabla 65. Ancho recomendado para calzada"[67]

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	Plano	-	-	-	-	-		7,3	7,3	7,3	7,3
	Ondulado	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	Montañoso	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	Escarapado	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	-
Carretera Principal 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	-	-	-
	Escarapado	-	-	-	7,00	7,00	7,00	-	-	-	-
Carretera 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	-	-	-	-	-
	Escarapado	6,00	6,00	6,60	7,00	-	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria	Plano	-	5,00	6,00	6,60	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	5,00	5,00	6,00	6,60	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	5,00	5,00	6,00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	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 experimenta 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 el numeral 8.2.2.1.2, se desarrolló el correspondiente procedimiento de cálculo y análisis respecto al diseño existente.

En cuanto al ancho de calzada en tramos tangentes, se determina a partir de la Tabla 65, 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 dos calzadas independientemente del tipo de terreno, no se estipula ningún ancho para la velocidad de diseño de 50 km/h; porque las condiciones de diseño iníciales permiten determinar que la velocidad mínima teórica de diseño debería ser 80 km/h (aspecto ya analizado en el numeral 8.2.1 Controles para el diseño geométrico - 8.2.1.1 velocidad de diseño). Por lo cual el presente análisis se limitará a evaluar el ancho de calzada para una velocidad de 80 km/h, que independiente del tipo de terreno (ya sea ondulado o montañoso que son los tipos

[66] Ibíd., p. 127

[67] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 127

de terreno determinados inicialmente en este análisis comparativo) y con el tipo de carretera anteriormente definido, se encuentra en 7.3m. (ver tabla 66)

Tabla 66. Ancho de calzada teórico trayecto 6

Trayecto		Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad teórica mínima de diseño (Km/h)	Ancho de Calzada (m)
T6-1	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	7.3
	Izquierda	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	7.3
T6-2	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	7.3
	Izquierda	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	7.3
T6-4	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Ondulado	80	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 compararan con la obtenida teóricamente, a continuación se indica el procedimiento de análisis de este parámetro para un trayecto en particular. (ver tabla 67)

Tabla 67. Ancho de calzada entretangencias T6-1 calzada derecha

Abscisa	Ancho de Calzada Teorica (m)	Ancho de Calzada Diseño (m)	Chequeo	Abscisa	Ancho de Calzada Teorica (m)	Ancho de Calzada Diseño (m)	Chequeo
K0+000	7,3	7,3	CUMPLE	K4+200	7,3	7,3	CUMPLE
K0+400	7,3	7,3	CUMPLE	K4+300	7,3	7,3	CUMPLE
K0+620	7,3	7,3	CUMPLE	K4+400	7,3	7,3	CUMPLE
K1+100	7,3	7,3	CUMPLE	K4+500	7,3	7,3	CUMPLE
K1+400	7,3	7,3	CUMPLE	K4+850	7,3	7,3	CUMPLE
K1+850	7,3	7,3	CUMPLE	K5+100	7,3	7,3	CUMPLE
K2+200	7,3	7,3	CUMPLE	K5+200	7,3	7,3	CUMPLE
K2+400	7,3	7,3	CUMPLE	K5+800	7,3	7,3	CUMPLE
K2+550	7,3	7,3	CUMPLE	K5+500	7,3	7,3	CUMPLE
K2+700	7,3	7,3	CUMPLE	K5+600	7,3	7,3	CUMPLE
K3+050	7,3	7,3	CUMPLE	K5+800	7,3	7,3	CUMPLE
K3+250	7,3	7,3	CUMPLE	K5+900	7,3	7,3	CUMPLE
K3+500	7,3	7,3	CUMPLE	K6+400	7,3	7,3	CUMPLE
K3+600	7,3	7,3	CUMPLE	K6+500	7,3	7,3	CUMPLE
K3+850	7,3	7,3	CUMPLE	K6+600	7,3	7,3	CUMPLE
K4+000	7,3	7,3	CUMPLE	K6+685,48	7,3	7,3	CUMPLE

Tomando como referencia la velocidad teórica mínima de diseño de 80 km/h, el diseño geométrico del trayecto 6 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.

- **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. La Tabla 68, presenta el ancho de berma recomendado en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño. (ver tabla 68)

Tabla 68. 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

[68] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 128

Para determinar el ancho de berma empleamos la Tabla 69, 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 dos calzadas 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 80 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, se encuentran:

Tabla 69. Ancho de berma teórico trayecto 6

Trayecto		Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	Velocidad teórica mínima de diseño (Km/h)	Ancho de Berma (m)	
					Berma Izquierda	Berma Derecha
T6-1	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	0.5	1.8
	Izquierda	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	0.5	1.8
T6-2	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	0.5	1.8
	Izquierda	Carretera principal de dos calzadas	Montañoso	80	0.5	1.8
T6-4	Derecha	Carretera principal de dos calzadas	Ondulado	80	1.0	2.0

Para la verificación de este parámetro se efectuarán medidas aleatoriamente sobre planos y estas se compararan con el ancho de berma obtenido teóricamente, a continuación se indica el procedimiento de análisis de este parámetro para un trayecto en particular. (ver tabla 70)

Tabla 70. Ancho de berma sección transversal T6-1 calzada derecha

Abscisa	Ancho de Berma Teorica (m)		Ancho de Berma Diseño (m)		Chequeo	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Berma Izquierda	Berma Derecha
K0+000	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K0+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K0+620	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K1+100	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K1+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K1+850	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K2+200	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K2+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K2+550	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K2+700	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K3+050	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K3+250	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K3+500	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K3+600	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K3+850	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+000	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+200	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+300	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+500	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K4+850	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+100	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+200	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+500	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+600	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+800	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K5+900	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K6+400	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K6+500	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K6+600	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE
K6+685,48	0,5	1,8	0,3	1,2	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tomando como referencia la velocidad teórica mínima de diseño de 80 Km/h, el diseño geométrico del trayecto 6 no cumple en su totalidad con el criterio de ancho de berma, presentándose valores menores en el diseño que los establecidos en el Manual del INVIAS año 1998. Por lo cual se presenta un porcentaje de no cumplimiento del 100% para todo el trayecto en estudio. (ver tabla 71)

2.2.5 Resumen de resultados:

Tabla 71. Cuadro resumen parámetros analizados manual para el diseño geométrico de carreteras año 1998

Parametros Objeto de Analisis			Porcentaje no cumple Manual año 1998
Diseño en Planta del Eje de la Carretera	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DVP EN PLANTA		0.00%
	RADIOS MINIMOS CURVAS HORIZONTALES		39.29%
	SOBREANCHO CURVAS HORIZONTALES		100.00%
	LONGITUD ENTRETANGENCIA HORIZONTAL		3.67%
	RELACIÓN ENTRE RADIOS DE CURVAS CONTIGUAS		-
	CURVAS ESPIRALES	LONGITUD CIRCULAR MINIMA EMPALME E - C - E	9.10%
		DEFLEXIONES LIMITE EMPALME E - E	29.17%
		LONGITUD ESPIRAL Le	49.11%
	PERALTE	PERALTE CURVAS HORIZONTALES	4.48%
		LONGITUD DE TRANSICIÓN	33.33%
		RAMPA DE PERALTE	43.24%
Diseño Vertical	PENDIENTE TANGENTE VERTICAL		*
	LONGITUD MINIMA Y MAXIMA CURVA VERTICAL		2.99%
	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DVP EN PERFIL		0.00%
Sección Transversal	ANCHO DE ZONA MINIMO		0.00%
	ANCHO CALZADA		0.00%
	ANCHO DE BERMA		100.00%

Una vez finalizado el análisis para el Diseño Geométrico de Carreteras mediante Manual año 1998, es posible establecer lo siguiente:

Se presentan dos parámetros críticos en el diseño como lo son: ancho de berma y sobreancho en curvas horizontales, debido a que presentan porcentajes de cumplimiento del 0% (o de no cumplimiento del 100%), los cuales deben ser objeto de estudio y análisis más profundo, debido a que pueden constituirse en generadores de problemas de la vía a nivel operativo y funcional.

De manera general, se concluye que el diseño es INADECUADO respecto al sustento teórico – conceptual presentado en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, esto debido a que se podría de hablar que es adecuado siempre y cuando se cumpla a cabalidad (100%) con todos los parámetros que intervienen y definen el diseño.

2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008

Para el análisis actual, el PI No. 12 del trayecto T6- 2 para calzada izquierda y derecha, incluye los PI´s No. 12, 13 y 14 del análisis anterior (Manual 1998), es decir, este corresponde al Viaducto Las Palmas y debido a la limitación de conocimiento respecto al desarrollo geométrico de esta parte e igualmente como en el análisis anterior, este no se tiene en cuenta para la evaluación y estudio de los parámetros objeto de estudio.

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 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]

El Diseño Geométrico del **"TRAYECTO 6 (T6_1, T6_2 y T6_4) DE LA CONCESIÓN VARIANTE RUMICHACA – PASTO - CHACHAGÜI – AEROPUERTO",** consta de 4 trayectos (para efectos de análisis y diseño, los

[69] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 37

trayectos equivalen a tramos homogéneos), de los cuales 3 presentan diseño, correspondientes a los trayectos T6_1, T6_2 y T6_4 para Calzada Derecha e Izquierda, excepto el último trayecto (T6_4) que presenta diseño solo en Calzada Derecha, en cuanto al trayecto T6_3 no se cuenta con información de diseño, por lo cual en adelante el estudio se efectuará para los 3 trayectos con información disponible, tal como se efectuó para el análisis anterior, del Diseño Geométrico del trayecto 6 con base al manual del año 1998.

- **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 72."[70]

"Tabla 72. 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 HOMOGÉNEO 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 73)

[70] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 37

[71] Ibíd., p 38

Tabla 73. Asignación de velocidad por tramos homogéneos (trayecto 6)

Trayecto	Calzada	Tipo de Terreno	Categoria de la via	VTR (Km/h)
T6_1	Derecha	Montañoso	Principal de Dos Calzadas	70
	Izquierda	Montañoso		70
T6_2	Derecha	Montañoso		70
	Izquierda	Montañoso		70
T6_4	Derecha	Ondulado		80

De acuerdo al diseño presentado por DEVINAR S.A., se tiene que la velocidad real de diseño es de 50 km/h (En este caso correspondiente al V_{TR} real de diseño) para todos los trayectos que conforman el trayecto 6, 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 efectuará para la V_{TR} Real de diseño presentada por DEVINAR para el proyecto, 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 trayecto, la cual se encuentra consignada en la Tabla 74.

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

Trayecto	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud (m)	VTR (Km/h)	Longitud Minima (m)	Chequeo
T6_1	Derecha	PR 0+000	PR 6+680	6680	70	3000	CUMPLE
	Izquierda	PR 0+000	PR 6+720	6720	70	3000	CUMPLE
T6_2	Derecha	PR 6+680	PR 10+640	3960	70	3000	CUMPLE
	Izquierda	PR 6+720	PR 10+640	3920	70	3000	CUMPLE
T6_4	Derecha	PR 14+680	PR 16 +920	2240	80	3000	NO CUMPLE

Tabla 75. Longitudes mínimas tramos homogéneos para V_{TR} teórica mínima de diseño

Trayecto	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud (m)	VTR (Km/h)	Longitud Minima (m)	Chequeo
T6_1	Derecha	PR 0+000	PR 6+680	6680	70	4000	CUMPLE
	Izquierda	PR 0+000	PR 6+720	6720	70	4000	CUMPLE
T6_2	Derecha	PR 6+680	PR 10+640	3960	70	4000	NO CUMPLE
	Izquierda	PR 6+720	PR 10+640	3920	70	4000	NO CUMPLE
T6_4	Derecha	PR 14+680	PR 16 +920	2240	80	4000	NO CUMPLE

Respecto al parámetro longitud mínima de tramo homogéneo tenemos: Para la V_{TR} real de diseño, el T6_4 Calzada Derecha 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, notándose un alto porcentaje de tramos homogéneos que no cumplen.

- 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}).

[72] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 39

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]

- **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 76. 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 76.

[73] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 39 y 40
[74] Ibíd., p 40

"Tabla 76. 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 anterior V_{CH} (Km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) ≤ 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 ≤ 70	70 < L ≤ 250		250 < L ≤ 400	L > 400	L ≤ 150	150 < L ≤ 400		400 < L ≤ 600	L > 600
		Δ < 45º	Δ ≥ 45º				Δ < 45º	Δ ≥ 45º		
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR} +10	V_{TR} +20	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR} +10	V_{TR} +20
V_{TR} +10	V_{TR} +10	V_{TR} +10	V_{TR}	V_{TR} +10	V_{TR} +20	V_{TR} +10	V_{TR} +10	V_{TR}	V_{TR} +10	V_{TR} +20
V_{TR} +20	V_{TR} +20	V_{TR} +20	V_{TR} +10	V_{TR} +10	V_{TR} +20	V_{TR} +20	V_{TR} +20	V_{TR} +10	V_{TR} +10	V_{TR} +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 77. 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 concordantes con los criterios establecidos para la asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales dentro de un mismo tramo."[76]

[75] Ibíd., p 43

[76] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 42

"Tabla 77. 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
Anterior	Analizado		Δ < 45º	Δ ≥ 45º				Δ < 45º	Δ ≥ 45º		
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)

(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 homogéneos (VTR)
(4) Si la longitud del segmento recto anterior es mayor de seiscientos metros (600m) es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (VTR)
(5) Si la longitud del segmento recto anterior se encuentra entre doscientos cincuenta y cuatrocientos metros (250 - 400 m) es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (VTR)
(6) Si la longitud del segmento recto anterior se encuentra entre cuatrocientos y seiscientos metros (400 - 600 m) es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (VTR)

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

[77] Ibíd., p 44

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 tabla 78)

Tabla 78. Asignación V_{CH} para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

Curva No.	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH		Curva No.	Deflexión Curva Analizada	Longitud Segmento Recto Anterior	Velocidad Especifica de la Curva Horizontal VCH	
			Sentido Creciente	Definitiva				Sentido Creciente	Definitiva
1	80°26´56" I	54.38	50	**50**	16	63°21´29" I	30.00	50	**50**
2	60°31´25" D	33.14	50	**50**	17	71°13´23" D	107.85	50	**50**
3	50°22´41" I	68.51	50	**50**	18	51°56´44" I	185.31	50	**50**
4	20°22´9" D	40.00	50	**50**	19	45°22´33" D	250.79	60	**60**
5	31°56´39" D	85.66	50	**50**	20	30°47´49" I	84.73	60	**60**
6	80°7´6" I	69.89	50	**50**	21	16°51´3" D	78.60	60	**60**
7	81°31´38" D	38.25	50	**50**	22	16°29´50" D	597.49	70	**70**
8	7°59´57" d	189.71	50	**50**	23	63°2´14" I	115.28	60	**60**
9	39°57´5" I	159.28	50	**50**	24	32°11´29" I	316.76	60	**60**
10	169°27´59" D	64.72	50	**50**	25	20°44´49" D	73.96	60	**60**
11	177°21´46" I	91.62	50	**50**	26	14°0´43"I	48.55	60	**60**
12	69°46´1" D	87.45	50	**50**	27	36°34´45" D	72.10	60	**60**
13	28°15´47" I	103.98	50	**50**	28	61°49´20" I	227.31	50	**50**
14	42°7´32" I	100.83	50	**50**	29	80°17´21" D	68.98	50	**50**
15	58°47´55" D	169.64	50	**50**					

El análisis anterior no presenta observación alguna debido a que no se cuenta con información de velocidades específicas en cada curva horizontal empleadas en el diseño efectuado por DEVINAR SA; 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 especifica 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. (ver tabla 79)

Tabla 79. Asignación de V_{ETH} para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

Entretangencia No.	Velocidad Especifica Curva Horizontal anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Entretangencia No.	Velocidad Especifica Curva Horizontal anterior VCH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)
1	50	50	16	50	50
2	50	50	17	50	50
3	50	50	18	50	50
4	50	50	19	60	60
5	50	50	20	60	60
6	50	50	21	60	60
7	50	50	22	70	70
8	50	50	23	60	60
9	50	50	24	60	60
10	50	50	25	60	60
11	50	50	26	60	60
12	50	50	27	60	60
13	50	50	28	50	50
14	50	50	29	50	50
15	50	50			

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.

Nota: Las entretangencias horizontales resaltadas (en gris), indican que la longitud de entretangencia es igual a 0 m, por lo tanto la velocidad determinada no se asocia a ningún elemento geométrico (entretangencia).

- **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).

[78] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 46

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 esta en la velocidad critica de diseño (por ser la mayor) a la cual un usuario pueda transitar por este tramo en sección de planta. (ver tabla 80)

Tabla 80. Asignación de V_{CV} para V_{TR} real de diseño T6_1 calzada derecha

PIV No.	Forma de Inflexión	Elemento Critico - Ubicación		Velocidad Elemento Ubicación (Km/h)	Velocidad Especifica Curva Vertical VCV (Km/h)
		Sobre Curva Horizotal	Sobre Entretangencia Horizontal		
1	Concava	X		50	50
2	Convexa	X		50	50
3	Concava	X		50	50
4	Convexa	X		50	50
5	Convexa	X		50	50
6	Concava	X		50	50
7	Concava	X		50	50
8	Convexa	X		50	50
9	Concava	X		50	50
10	Convexa		X	60	60
11	Concava	X		70	70
12	Convexa	X		60	60
13	Concava	X		50	50
14	Convexa	X		50	50
15	Concava	X		50	50

La asignación de velocidades específicas a curvas verticales se empleará 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.

[79] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 47

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 entretangencia 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: (ver tabla 81)

Tabla 81. Asignación (V_{TV}) para V_{TR} real de diseño T6_1 calzada derecha

Entretangencia No.	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)	Entretangencia No.	Velocidad Especifica Entretangencia Horizontal VETH (Km/h)	Velocidad Especifica Entretangencia Vertical VTV (Km/h)
1	50	50	8	50	50
2	50	50	9	60	60
3	50	50	10	60	60
4	50	50	11	60	60
5	50	50	12	60	60
6	50	50	13	50	50
7	50	50	14	50	50

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

Nota: Las entretangencias resaltadas (en gris) indican que el valor de velocidad asociado a ella corresponde en planta a curva horizontal.

- **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 sobreanchos 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

[80] Ibíd., 2008 p 47
[81] Ibíd., , 2008 p 50

representativo de las características promedio del parque automotor que circulan por la red vial nariñense. (ver tabla 82)

Tabla 82. Principales características del vehículo de diseño

CATEGORÍA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMION (m)	LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m)
C3-S2	20.89	2.59	4.57	14.63

- **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)

Para el caso de carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, se deben medir las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento; en carreteras de dos calzadas separadas (aplicable en este caso) es suficiente el análisis de visibilidad de parada. La distancia de visibilidad de cruce (Dc) 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 6 referenciado al Manual del año 1998.

- **Distancia de visibilidad de parada (Dp)**

"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

[82] Ibíd., p 51
[83] Ibíd., p 58

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:

$$D_p = 0.695 V_e + \frac{V_e^2}{87.18} \qquad [27]$$

Donde:

Dp: Distancia de visibilidad de parada, (m)

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.

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.

[84] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 58

Donde:

$$d = \frac{Ve^2}{254\left(\frac{a}{9.81} \pm \frac{p}{100}\right)} \quad [28]$$

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]

$$Dp = 0.695\ Ve + d \quad [29]$$

"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 (D_P). Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (D_P) y la Longitud de la curva (L): Cuando $D_P < L$ y $D_P > L$. 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]

- **Cuando $D_P < L$**

$$L = \frac{A * Dp^2}{658} \quad [30]$$

De la ecuación anterior, despejamos Dp y obtenemos:

[85] Ibíd., p 59
[86] Ibíd., p 137

$$Dp = \sqrt{\frac{658 * L}{A}} \quad [31]$$

Donde:

Dp: Distancia de Visibilidad de Parada en metros

L: Longitud Curva Vertical en metros

A: Diferencia Algebraica de Pendientes (%)

- **Cuando $D_P > L$**

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

Mediante las fórmulas [28] y [29] 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) establecemos 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.

En la tabla 83, se presenta el procedimiento para la verificación del parámetro Dp de la sección en perfil para el trayecto T6_1 Calzada derecha, entendiendo su aplicabilidad a los demás trayectos en estudio que componen el presente diseño.

Tabla 83. Distancia de visibilidad de parada en perfil V_{TR} real de diseño T6 - 1 calzada derecha

PIV No.	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 Percepcion - Reaccion	Distancia de Frenado	DVP Teórica (m)	Chequeo
1	Convexa	-1.249	-7.869	6.620	100.00	99.70	50	-7.869	34.75	36.74	71.49	CUMPLE
3	Convexa	-5.134	-6.898	1.764	112.12	204.51	50	-6.898	34.75	35.45	70.20	CUMPLE
4	Convexa	-6.898	-9.139	2.241	130.82	195.99	50	-9.139	34.75	38.57	73.32	CUMPLE
7	Convexa	-5.895	-9.513	3.618	389.37	266.11	50	-9.513	34.75	39.14	73.89	CUMPLE
9	Convexa	-6.610	-8.183	1.573	139.27	241.37	50	-8.183	34.75	37.17	71.92	CUMPLE
11	Convexa	-6.931	-8.781	1.850	145.95	227.84	70	-8.781	48.65	74.54	123.19	CUMPLE
13	Convexa	-5.224	-7.372	2.148	100.00	175.02	50	-7.372	34.75	36.07	70.82	CUMPLE

Del análisis para Distancia de Visibilidad de Parada (Dp) se obtuvieron los siguientes resultados: para una V_{TR} real de diseño = 50 km/h correspondiente a la 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 por lo cual se concluye que el diseño presenta inconformidad respecto a este parámetro. (ver tabla 84)

Tabla 84. Curvas verticales convexas trayecto 6 no cumplen Dp mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (VTR = 50Km/h) (Real de Diseño)		Chequeo para VTR teórica minima de diseño	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	7	0	0.00	1	14.29
	Izquierda	10	0	0.00	0	0.00
T6-2	Derecha	5	0	0.00	3	60.00
	Izquierda	7	0	0.00	2	28.57
T6-4	Derecha	4	0	0.00	3	75.00

- **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 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; en carreteras de dos calzadas separadas es suficiente el análisis de visibilidad de parada (Aplicable para el estudio y análisis presente).

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

[87] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 68

determina que no hay variación alguna respecto a la fundamentación teórica, 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, así la traza respecto a obstrucciones laterales (Taludes) que limiten la visibilidad sigue siendo la misma y se obtendrán iguales resultados. Sin embargo, el proceso de asignación de velocidades presenta variación, lo cual involucra tomar velocidades diferentes de referencia para determinar la DP horizontal teórica por lo tanto se efectúa el chequeo de este parámetro como se muestra a continuación.

El valor de la Dp horizontal teórica mínima se determina a partir de la tabla siguiente: (ver tabla 85)

Tabla 85. Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel

Velocidad Específica Ve (Km/h)	**Distancia Percepción - Reacción (m)**	**Distancia durante el frenado a nivel (m)**	**Distancia de visibilidad de parada Dp (m)**	
			Calculada	Redondeada
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

A continuación, se indica el procedimiento de análisis para un trayecto en particular del sector en estudio para el parámetro actual: (ver tabla 86)

Tabla 86. Chequeo Dp curvas horizontales T6 – 1 V_{TR} = 50 Km/h

PI No.	Tipo de empalme	DP Existente leída en planos (m)	V_{CH} (Km/h)	DP mínima teórica (m)	Chequeo
1	E-C-E Asim	67.86	50.00	65.00	CUMPLE
2	E-C-E Asim	77.14	50.00	65.00	CUMPLE
3	E-C-E Sim	65.84	50.00	65.00	CUMPLE
4	E-E Sim	89.54	50.00	65.00	CUMPLE
5	E-C-E Asim	63.40	50.00	65.00	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim	64.69	50.00	65.00	NO CUMPLE
7	E-C-E Asim	64.51	50.00	65.00	NO CUMPLE
8	E-E Sim	227.55	50.00	65.00	CUMPLE
9	E-C-E Asim	82.94	50.00	65.00	CUMPLE
10	E-C-E Asim	78.71	50.00	65.00	CUMPLE
11	E-C-E Sim	66.49	50.00	65.00	CUMPLE
12	E-C-E Sim	60.39	50.00	65.00	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	92.00	50.00	65.00	CUMPLE
14	E-C-E Sim	73.36	50.00	65.00	CUMPLE
15	E-C-E Asim	69.44	50.00	65.00	CUMPLE
16	E-C-E Asim	57.76	50.00	65.00	NO CUMPLE
17	E-C-E Sim	67.50	50.00	65.00	CUMPLE
18	E-C-E Sim	62.91	50.00	65.00	NO CUMPLE
19	E-C-E Sim	77.82	60.00	85.00	NO CUMPLE
20	E-E Sim	71.35	60.00	85.00	NO CUMPLE
21	E-E Sim	108.92	60.00	85.00	CUMPLE
22	E-C-E Sim	151.00	70.00	105.00	CUMPLE
23	E-C-E Sim	62.90	60.00	85.00	NO CUMPLE
24	E-C-E Sim	61.98	60.00	85.00	NO CUMPLE
25	E-E Sim	91.06	60.00	85.00	CUMPLE
26	E-E Sim	107.65	60.00	85.00	CUMPLE
27	E-C-E Asim	91.04	60.00	85.00	CUMPLE
28	E-C-E Asim	101.82	50.00	65.00	CUMPLE
29	E-C-E Asim	87.94	50.00	65.00	CUMPLE

Analizando la distancia de visibilidad de parada para curvas horizontales del trayecto 6, medida en planos con relación a la Dp teórica mínima, para V_{TR} = 50 Km/h se presentan porcentajes considerables de curvas que no cumplen, mientras que tomando la V_{TR} teórica mínima de diseño, los porcentajes de no cumplimiento son aun más considerables, llegando incluso al 100%: (ver tabla 87)

Tabla 87. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen Dp mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	29	10	34.48	26	89.66
	Izquierda	30	8	26.67	26	86.67
T6-2	Derecha	23	18	78.26	22	95.65
	Izquierda	23	18	78.26	23	100.00
T6-4	Derecha	6	0	0.00	6	100.00

B. Evaluación de la visibilidad en perfil

El análisis de la Distancia de Visibilidad de Parada (Dp) 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.

2.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera:

2.3.2.1 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 6) está conformado en su totalidad por curvas espiralizadas del tipo Espiral – Espiral (E-E) y Espiral – Circular – Espiral (E-C-E) (Simétricas y Asimétricas), siendo predominantes en un alto porcentaje las curvas tipo E-C-E.

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 A1 y A2 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] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 79

[89] Ibíd., p 83

- **Radio de curvatura mínimo ($R_{Cmín}$)**

"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:

$$Rc_{min} = \frac{V_{CH}^{\ 2}}{127 * (e_{max} + f_{Tmax})} \quad [32]$$

En la Tabla 88, 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 88. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx}$ = 8 % y fricción máxima"[90]

Velocidad Especifica V_{CH} (Km/h)	Peralte Maximo (%) e max	Coeficiente de Fricción Transversal f 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 89 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] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 104

Tabla 89. Chequeo radios mínimos T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Velocidad Real de Diseño (VTR=50 Km/h)			Velocidad Teorica Minima de Diseño (VTR=70 Km/h)		
			Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Minimo (m)	Chequeo RExistente≥Rmín	Velocidad Especifica VCH (Km/h)	Radio Minimo (m)	Chequeo RExistente≥Rmín
1	E-C-E Asim	106.90	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
2	E-C-E Asim	120.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
3	E-C-E Sim	90.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
4	E-E Sim	112.51	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
5	E-C-E Asim	95.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim	73.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
7	E-C-E Asim	73.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
8	E-E Sim	573.02	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	CUMPLE
9	E-C-E Asim	120.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
10	E-C-E Asim	68.50	50.00	73.00	NO CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	88.90	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim	80.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	73.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	73.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	80.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim	73.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
17	E-C-E Sim	80.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
18	E-C-E Sim	80.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
19	E-C-E Sim	113.60	60.00	113.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
20	E-E Sim	93.02	60.00	113.00	NO CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE
21	E-E Sim	170.01	60.00	113.00	CUMPLE	70.00	168.00	CUMPLE
22	E-C-E Sim	400.00	70.00	168.00	CUMPLE	80.00	229.00	CUMPLE
23	E-C-E Sim	80.00	60.00	113.00	NO CUMPLE	80.00	229.00	NO CUMPLE
24	E-C-E Sim	80.00	60.00	113.00	NO CUMPLE	80.00	229.00	NO CUMPLE
25	E-E Sim	124.27	60.00	113.00	CUMPLE	80.00	229.00	NO CUMPLE
26	E-E Sim	184.01	60.00	113.00	CUMPLE	80.00	229.00	NO CUMPLE
27	E-C-E Asim	140.10	60.00	113.00	CUMPLE	80.00	229.00	NO CUMPLE
28	E-C-E Asim	200.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	CUMPLE
29	E-C-E Asim	80.00	50.00	73.00	CUMPLE	70.00	168.00	NO CUMPLE

De los resultados obtenidos del análisis de radios mínimos para curvas horizontales se concluye que para el trayecto T6_1 tanto para calzada derecha como Izquierda se presentan porcentajes considerables de curvas que no cumplen, mientras que para los trayectos T6_2 y T6_4 el parámetro esta conforme, con un cumplimiento del 100% para la V_{TR} real de diseño. Para la Velocidad mínima teórica de diseño se presentan elevados porcentajes de curvas que no cumplen, estableciéndose que los valores presentados en el diseño son inadecuados. (ver tabla 90)

Tabla 90. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen radio de curvatura mínimo

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (VTR = 50Km/h)		Chequeo para VTR teórica minima de diseño	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	29	4	13.79	25	86.21
	Izquierda	30	3	10.00	25	83.33
T6-2	Derecha	23	0	0.00	22	95.65
	Izquierda	23	0	0.00	23	100.00
T6-4	Derecha	7	0	0.00	6	85.71

- **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 enunciados 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:

$$Amín = \sqrt{\frac{V_{CH} * Rc}{46.656 * J}\left(\frac{V_{CH}^{2}}{Rc} - 1.27(e)\right)} \quad [33]$$

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 91

Tabla 91. Variación de la aceleración centrífuga (J)"[91]

V_{CH} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J (m/s^3)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

[91] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 117

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: (ver tabla 92)

Tabla 92. Chequeo longitud espiral le mín. y le máx. VTR real de diseño T6_1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Peralte e% (Diseño	Radio R (m)	Le existente (m)	Criterio I A min (m)	Criterio II A min (m)	Criterio III1 A min (m)	Criterio III2 A min (m)	Envolvente superior A min (m)	A max (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo Lemin≤Le≤Lemax
1	E-C-E Asim	7.4	106.90	35.00	47.85	61.24	52.03	34.59	61.24	117.59	35.08	129.35	NO CUMPLE
				35.05	47.85	61.24	52.03	34.59	61.24	117.59	35.08	129.35	NO CUMPLE
2	E-C-E Asim	-	120.00	31.23	-	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	NO CUMPLE
				30.00	-	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	NO CUMPLE
3	E-C-E Sim	7.8	90.00	40.00	49.62	57.69	45.73	29.12	57.69	99.00	36.97	108.90	CUMPLE
4	E-E Sim	7.4	112.51	40.00	47.00	62.82	54.07	36.41	62.82	123.76	35.08	136.14	CUMPLE
5	E-C-E Asim	7.8	95.00	40.00	48.85	59.27	47.62	30.74	59.27	104.50	36.97	114.95	CUMPLE
				38.80	48.85	59.27	47.62	30.74	59.27	104.50	36.97	114.95	CUMPLE
6	E-C-E Asim	8.0	73.00	50.49	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
				38.25	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
7	E-C-E Asim	8.0	73.00	38.25	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
				45.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
8	E-E Sim	2.0	573.02	80.00	39.99	73.71	183.30	185.43	185.43	630.32	60.00	693.35	CUMPLE
9	E-C-E Asim	8.0	120.00	65.00	44.28	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	CUMPLE
				47.03	44.28	67.46	56.74	38.83	67.46	132.00	37.92	145.20	CUMPLE
10	E-C-E Asim	8.0	68.50	82.40	52.55	50.97	37.27	22.17	52.55	75.35	40.32	82.89	CUMPLE
				60.86	52.55	50.97	37.27	22.17	52.55	75.35	40.32	82.89	CUMPLE
11	E-C-E Sim	8.0	88.90	42.43	49.44	58.06	45.31	28.77	58.06	97.79	37.92	107.57	CUMPLE
12	E-C-E Sim	8.0	80.00	35.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	8.0	80.00	45.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
				30.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim	8.0	73.00	30.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	NO CUMPLE
				40.00	51.88	52.61	39.09	23.62	52.61	80.30	37.92	88.33	CUMPLE
17	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
18	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	CUMPLE
19	E-C-E Sim	7.4	113.60	40.00	68.21	69.24	54.46	36.76	69.24	124.96	42.20	137.46	NO CUMPLE
20	E-E Sim	7.8	93.02	50.00	70.15	64.33	46.88	30.10	70.15	102.32	52.90	112.55	NO CUMPLE
21	E-E Sim	7.8	170.01	50.00	59.33	86.96	73.69	55.02	86.96	187.01	44.48	205.71	CUMPLE
22	E-C-E Sim	3.6	400.00	70.00	81.13	97.76	139.99	129.44	139.99	440.00	48.99	484.00	CUMPLE
23	E-C-E Sim	8.0	80.00	40.00	71.56	60.42	41.87	25.89	71.56	88.00	64.01	96.80	NO CUMPLE
24	E-C-E Sim	8.0	80.00	35.00	71.56	60.42	41.87	25.89	71.56	88.00	64.01	96.80	NO CUMPLE
25	E-E Sim	7.0	124.27	45.00	67.71	70.44	58.25	40.21	70.44	136.70	39.92	150.37	CUMPLE
26	E-E Sim	7.0	184.01	45.00	60.07	85.71	78.19	59.55	85.71	202.41	39.92	222.65	CUMPLE
27	E-C-E Asim	7.0	140.10	58.03	65.77	74.79	63.73	45.34	74.79	154.11	39.92	169.52	CUMPLE
				58.03	65.77	74.79	63.73	45.34	74.79	154.11	39.92	169.52	CUMPLE
28	E-C-E Asim	5.6	200.00	70.00	40.62	72.86	83.24	64.72	83.24	220.00	34.64	242.00	CUMPLE
				39.42	40.62	72.86	83.24	64.72	83.24	220.00	34.64	242.00	CUMPLE
29	E-C-E Asim	8.0	80.00	98.54	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE
				35.00	50.82	55.08	41.87	25.89	55.08	88.00	37.92	96.80	NO CUMPLE

Para el diseño geométrico del trayecto 6 se obtuvieron los siguientes resultados, con base en el análisis de Le máxima y mínima con base en el manual del año 2008: para la V_{TR} real de diseño correspondiente a 50 Km/h hay porcentajes considerables de curvas no cumple, estableciéndose una alta inconformidad de este parámetro respecto al diseño; para la velocidad teórica mínima de diseño la situación es aún más critica obteniéndose porcentajes de curvas no cumplen del 100% o muy cercanos a este valor. (ver tabla 93)

Tabla 93. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud espiral le mín. y le máx.

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño VTR = 50Km/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
T6-1	Derecha	29	12	41.38	26	89.66
	Izquierda	30	11	36.67	25	83.33
T6-2	Derecha	23	16	69.57	23	100.00
	Izquierda	23	14	60.87	23	100.00
T6-4	Derecha	7	4	57.14	7	100.00

- **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 C3S2; el cual se toma como vehículo de diseño para el diseño del trayecto 6.

- **Vehículos articulados**

"La expresión recomendada para el cálculo del Sobreancho en curva es la siguiente:

$$S = A_C - A_T \qquad [34]$$

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:

$$Ac = n * (U + C) + (n - 1) * F_A + Z \quad [35]$$

Donde:

n: Número de carriles de la calzada

U: Ancho ocupado por el vehículo cuando está describiendo la trayectoria en la curva, en metros.

$$U = u + Rc - \sqrt{Rc^2 - (L_1 + L_2 + L_3)^2} \quad [36]$$

Donde:

u: Ancho del vehículo en tangente, en metros (Tabla 94)

Rc: Radio de la curva, en metros.

L_1, L_2 y L_3: Dimensiones del vehículo, en metros (Tabla 94)

C: Espacio lateral de seguridad que requiere cada vehículo, en metros.

En la tabla 94, se presenta el valor de C en función del ancho de la calzada.

Tabla 94. Valor de C en función del ancho de la calzada

	ANCHO DE CALZADA EN TANGENTE (A_T), 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.

$$F_A = \sqrt{R_c^2 + A(2L_1 + A)} - Rc \quad [37]$$

Donde:

Rc: Radio de la curva, en metros.

A: Valor del voladizo o saliente delantero del vehículo, en metros (Tabla 94)

L_1: Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora, en metros (Tabla 91)

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.

$$Z = 0.1\sqrt{\frac{V_{CH}}{Rc}} \qquad [38]$$

En la tabla 95, se especifican las dimensiones del vehículo articulado empleadas en el cálculo del Sobreancho:

Tabla 95. Dimensiones vehículo articulado para sobreancho de calzada"[92]

	CATEGORÍA	A (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	U (m)
C3S2	Tracto camión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.0	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 tabla 96)

[92] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 157

Tabla 96. Chequeo sobreancho (s) para dos carriles vehículo articulado T6_1 calzada derecha

PI No.	Tipo empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	No. Carriles n	U (m)	C (m)	F_A (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobreancho minimo calculado (m)	Sobreancho existente (m)	Sexistente ≥ Scalculado
1	E-C-E Asim	106.90	50.00	7.30	2.00	2.82	0.93	0.07	0.07	7.63	0.33	0.00	NO APLICA
2	E-C-E Asim	120.00	50.00	7.30	2.00	2.80	0.93	0.07	0.06	7.57	0.27	0.00	NO APLICA
3	E-C-E Sim	90.00	50.00	7.30	2.00	2.86	0.93	0.09	0.07	7.74	0.44	0.00	NO APLICA
4	E-E Sim	112.51	50.00	7.30	2.00	2.81	0.93	0.07	0.07	7.61	0.31	0.00	NO APLICA
5	E-C-E Asim	95.00	50.00	7.30	2.00	2.85	0.93	0.08	0.07	7.71	0.41	0.00	NO APLICA
6	E-C-E Asim	73.00	50.00	7.30	2.00	2.93	0.93	0.11	0.08	7.90	0.60	0.00	NO CUMPLE
7	E-C-E Asim	73.00	50.00	7.30	2.00	2.93	0.93	0.11	0.08	7.90	0.60	0.00	NO CUMPLE
8	E-E Sim	573.02	50.00	7.30	2.00	2.63	0.93	0.01	0.03	7.16	0.00	0.00	NO APLICA
9	E-C-E Asim	120.00	50.00	7.30	2.00	2.80	0.93	0.07	0.06	7.57	0.27	0.00	NO APLICA
10	E-C-E ASim	68.50	50.00	7.30	2.00	2.95	0.93	0.12	0.09	7.95	0.65	0.00	NO CUMPLE
11	E-C-E Sim	88.90	50.00	7.30	2.00	2.87	0.93	0.09	0.07	7.75	0.45	0.00	NO APLICA
12	E-C-E Sim	80.00	50.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.08	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
13	E-C-E Sim	73.00	50.00	7.30	2.00	2.93	0.93	0.11	0.08	7.90	0.60	0.00	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	73.00	50.00	7.30	2.00	2.93	0.93	0.11	0.08	7.90	0.60	0.00	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	80.00	50.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.08	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
16	E-C-E Asim	73.00	50.00	7.30	2.00	2.93	0.93	0.11	0.08	7.90	0.60	0.00	NO CUMPLE
17	E-C-E Sim	80.00	50.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.08	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
18	E-C-E Sim	80.00	50.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.08	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
19	E-C-E Sim	113.60	60.00	7.30	2.00	2.81	0.93	0.07	0.07	7.61	0.31	0.00	NO APLICA
20	E-E Sim	93.02	60.00	7.30	2.00	2.86	0.93	0.09	0.08	7.73	0.43	0.00	NO APLICA
21	E-E Sim	170.01	60.00	7.30	2.00	2.73	0.93	0.05	0.06	7.43	0.13	0.00	NO APLICA
22	E-C-E Sim	400.00	70.00	7.30	2.00	2.65	0.93	0.02	0.04	7.22	0.00	0.00	NO APLICA
23	E-C-E Sim	80.00	60.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.09	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
24	E-C-E Sim	80.00	60.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.09	7.83	0.53	0.00	NO APLICA
25	E-E Sim	124.27	60.00	7.30	2.00	2.79	0.93	0.06	0.07	7.56	0.26	0.00	NO APLICA
26	E-E Sim	184.01	60.00	7.30	2.00	2.72	0.93	0.04	0.06	7.40	0.10	0.00	NO APLICA
27	E-C-E Asim	140.10	60.00	7.30	2.00	2.77	0.93	0.06	0.07	7.50	0.20	0.00	NO APLICA
28	E-C-E Asim	200.00	50.00	7.30	2.00	2.71	0.93	0.04	0.05	7.37	0.07	0.00	NO APLICA
29	E-C-E Asim	80.00	50.00	7.30	2.00	2.90	0.93	0.10	0.08	7.83	0.53	0.00	NO APLICA

En general, se obtuvieron elevados porcentajes de curvas que no cumplen con este parámetro 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 97)

Tabla 97. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen sobreancho mínimo vehículos articulados

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para curvas que no cumple Sobreancho mínimo		Chequeo para curvas que constructivamente no aplica	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no aplica	Porcentaje de curvas no aplica
T6-1	Derecha	29	6	20.69	23	79.31
	Izquierda	30	3	10.00	27	90.00
T6-2	Derecha	23	16	69.57	7	30.43
	Izquierda	23	16	69.57	7	30.43
T6-4	Derecha	7	0	0.00	7	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 Dp (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 6, tanto para V_{TR} real de diseño como para V_{TR} teórica mínima de diseño. (ver tabla 98)

Tabla 98. Chequeo longitud circular para V_{TR} real de diseño y V_{TR} teórica mínima de diseño T6_1 calzada derecha

PI No.	Tipo de empalme	Lc Existente (m)	VCH para VTR = 50 Km/h (Velocidad Real de Diseño)	Lc Minima (m)	Chequeo LcExistente≥Lcmín	VCH para VTR = 70 Km/h (Velocidad Teorica Minima de Diseño)	Lc Minima (m)	Chequeo LcExistente≥Lcmín
1	E-C-E Asim	115.03	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
2	E-C-E Asim	96.12	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
3	E-C-E Sim	39.11	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
4	E-E Sim	0.00	50.00	-	NO APLICA	70.00	-	NO APLICA
5	E-C-E Asim	13.57	50.00	27.78	NO CUMPLE	70.00	38.89	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim	57.71	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
7	E-C-E Asim	62.25	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
8	E-E Sim	0.00	50.00	-	NO APLICA	70.00	-	NO APLICA
9	E-C-E Asim	27.66	50.00	27.78	NO CUMPLE	70.00	38.89	NO CUMPLE
10	E-C-E Asim	130.98	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
11	E-C-E Sim	232.77	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
12	E-C-E Sim	62.41	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
13	E-C-E Sim	6.01	50.00	27.78	NO CUMPLE	70.00	38.89	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	23.67	50.00	27.78	NO CUMPLE	70.00	38.89	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	44.60	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
16	E-C-E Asim	45.17	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
17	E-C-E Sim	59.45	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
18	E-C-E Sim	32.53	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	NO CUMPLE
19	E-C-E Sim	49.96	60.00	33.33	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
20	E-E Sim	0.00	60.00	-	NO APLICA	70.00	-	NO APLICA
21	E-E Sim	0.00	60.00	-	NO APLICA	70.00	-	NO APLICA
22	E-C-E Sim	45.17	70.00	38.89	CUMPLE	80.00	44.44	CUMPLE
23	E-C-E Sim	48.02	60.00	33.33	CUMPLE	80.00	44.44	CUMPLE
24	E-C-E Sim	9.95	60.00	33.33	NO CUMPLE	80.00	44.44	NO CUMPLE
25	E-E Sim	0.00	60.00	-	NO APLICA	80.00	-	NO APLICA
26	E-E Sim	0.00	60.00	-	NO APLICA	80.00	-	NO APLICA
27	E-C-E Asim	31.41	60.00	33.33	NO CUMPLE	80.00	44.44	NO CUMPLE
28	E-C-E Asim	161.09	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE
29	E-C-E Asim	45.33	50.00	27.78	CUMPLE	70.00	38.89	CUMPLE

El análisis del parámetro anterior permite determinar que se presentan porcentajes considerables 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 presente diseño. (ver tabla 99)

Tabla 99. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen longitud circular mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Empalme E-C-E Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño VTR = 50Km/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
T6-1	Derecha	23	6	26.09	7	30.43
	Izquierda	22	4	18.18	8	36.36
T6-2	Derecha	19	6	31.58	6	31.58
	Izquierda	19	6	31.58	7	36.84
T6-4	Derecha	4	0	0.00	1	25.00

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 θe 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:

$$Rc = \frac{{V_{CH}}^2}{127 * (e + Ft)} \quad [39]$$

Donde:

[93] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 83

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]

"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 100, se presenta el valor del peralte en función de la V_{CH} y el R_C para carreteras Primarias ($e_{máx}$ = 8%).

[94] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 102
[95] Ibíd., p 103

"Tabla 100. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx}$ = 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	11650	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	733	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 tabla 101)

[96] Ibíd., p 103

Tabla 101. Chequeo peralte máximo V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e% (Teórico)	Peralte e% (Diseño)	Chequeo
1	E-C-E Asim	50.00	106.90	7.40	7.40	CUMPLE
2	E-C-E Asim	50.00	120.00	-	-	CUMPLE
3	E-C-E Sim	50.00	90.00	7.80	7.80	CUMPLE
4	E-E Sim	50.00	112.51	7.30	7.40	NO CUMPLE
5	E-C-E Asim	50.00	95.00	7.70	7.80	NO CUMPLE
6	E-C-E Asim	50.00	73.00	8.00	8.00	CUMPLE
7	E-C-E Asim	50.00	73.00	8.00	8.00	CUMPLE
8	E-E Sim	50.00	573.02	2.70	2.00	NO CUMPLE
9	E-C-E Asim	50.00	120.00	7.10	8.00	NO CUMPLE
10	E-C-E Asim	50.00	68.50	8.00	8.00	CUMPLE
11	E-C-E Sim	50.00	88.90	7.80	8.00	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim	50.00	80.00	7.90	8.00	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	50.00	73.00	8.00	8.00	CUMPLE
14	E-C-E Sim	50.00	73.00	8.00	8.00	CUMPLE
15	E-C-E Asim	50.00	80.00	7.90	8.00	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim	50.00	73.00	8.00	8.00	CUMPLE
17	E-C-E Sim	50.00	80.00	7.90	8.00	NO CUMPLE
18	E-C-E Sim	50.00	80.00	7.90	8.00	NO CUMPLE
19	E-C-E Sim	60.00	113.60	8.00	7.40	NO CUMPLE
20	E-E Sim	60.00	93.02	8.00	7.80	NO CUMPLE
21	E-E Sim	60.00	170.01	7.20	7.80	NO CUMPLE
22	E-C-E Sim	70.00	400.00	5.60	3.60	NO CUMPLE
23	E-C-E Sim	60.00	80.00	8.00	8.00	CUMPLE
24	E-C-E Sim	60.00	80.00	8.00	8.00	CUMPLE
25	E-E Sim	60.00	124.27	7.90	7.00	NO CUMPLE
26	E-E Sim	60.00	184.01	7.00	7.00	CUMPLE
27	E-C-E Asim	60.00	140.10	7.70	7.00	NO CUMPLE
28	E-C-E Asim	50.00	200.00	5.60	5.60	CUMPLE
29	E-C-E Asim	50.00	80.00	7.90	8.00	NO CUMPLE

Del análisis anterior, para el trayecto 6 se determina que para la V_{TR} real de diseño hay elevados porcentajes 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 gran mayoría. Lo anterior aplica también para la velocidad teórica mínima de diseño correspondiente a cada trayecto en estudio. (ver tabla 102)

Tabla 102. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen peralte

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño VTR = 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
T6-1	Derecha	29	16	55.17	13	44.83
	Izquierda	30	16	53.33	17	56.67
T6-2	Derecha	23	6	26.09	6	26.09
	Izquierda	23	8	34.78	0	0.00
T6-4	Derecha	7	6	85.71	7	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.** El fundamento teórico para el parámetro rampa de peralte, no presenta variación respecto a lo presentado en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, sin embargo, el presente análisis es función de la velocidad respecto a los valores limites (máximos y mínimos) teóricos, por lo cual se efectúa el análisis siguiente.

La tabla 103, indica los valores máximos y mínimos para rampa de peralte en función de la velocidad de curva horizontal V_{CH} (Km/h).

Tabla 103. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

Velocidad Especifica (VCH) (Km/h)	Pendiente Relativa de la Rampa de Peraltes Δs	
	Max (%)	Min (%)
20	1.35	0,1*a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

A continuación, se presenta el procedimiento de análisis para el parámetro rampa de peralte para un trayecto en particular: (ver tabla 104)

Tabla 104. Chequeo rampa de peralte V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

PI No.	Tipo de Empalme	Longitud Transición Lt (m)	L (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS %	VCH (Km/h)	ΔS max	ΔS min	Chequeo
1	E-C-E Asim	44.46	35.00	7.40	3.65	0.77	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		44.52	35.05		3.65	0.77	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
2	E-C-E Asim	-	-	-	3.65	-	50.00	0.77	0.37	-
		-	-		3.65	-	50.00	0.77	0.37	-
3	E-C-E Sim	50.26	40.00	7.80	3.65	0.71	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
4	E-E Sim	44.46	35.00	7.40	3.65	0.77	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
5	E-C-E Asim	50.26	40.00	7.80	3.65	0.71	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		48.75	38.80		3.65	0.73	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
6	E-C-E Asim	63.11	50.49	8.00	3.65	0.58	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		47.81	38.25		3.65	0.76	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
7	E-C-E Asim	47.81	38.25	8.00	3.65	0.76	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		47.81	38.25		3.65	0.76	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
8	E-E Sim	107.14	53.57	2.00	3.65	0.14	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
9	E-C-E Asim	81.25	65.00	8.00	3.65	0.45	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		80.89	64.71		3.65	0.45	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
10	E-C-E Asim	80.89	64.71	8.00	3.65	0.45	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		67.10	53.68		3.65	0.54	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
11	E-C-E Sim	53.04	42.43	8.00	3.65	0.69	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
12	E-C-E Sim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
13	E-C-E Sim	37.50	30.00	8.00	3.65	0.97	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
14	E-C-E Sim	37.50	30.00	8.00	3.65	0.97	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
15	E-C-E Asim	56.25	45.00	8.00	3.65	0.65	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
		37.56	30.05		3.65	0.97	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
16	E-C-E Asim	37.56	30.05	8.00	3.65	0.97	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
		54.17	43.34		3.65	0.67	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
17	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
18	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
19	E-C-E Sim	50.81	40.00	7.40	3.65	0.68	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
20	E-E Sim	56.54	45.00	7.80	3.65	0.63	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
21	E-E Sim	59.52	47.37	7.80	3.65	0.60	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
22	E-C-E Sim	108.89	70.00	3.60	3.65	0.19	70.00	0.55	0.37	NO CUMPLE
23	E-C-E Sim	50.00	40.00	8.00	3.65	0.73	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
24	E-C-E Sim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
25	E-E Sim	51.43	40.00	7.00	3.65	0.64	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
26	E-E Sim	53.33	41.48	7.00	3.65	0.62	60.00	0.60	0.37	NO CUMPLE
27	E-C-E Asim	81.58	63.45	7.00	3.65	0.40	60.00	0.60	0.37	CUMPLE
		75.10	58.41		3.65	0.44	60.00	0.60	0.37	CUMPLE
28	E-C-E Asim	95.00	70.00	5.60	3.65	0.29	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
		53.50	39.42		3.65	0.52	50.00	0.77	0.37	CUMPLE
29	E-C-E Asim	43.75	35.00	8.00	3.65	0.83	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE
		43.75	35.00		3.65	0.83	50.00	0.77	0.37	NO CUMPLE

Del análisis anterior para el trayecto 6, se determina que para la V_{TR} real de diseño hay elevados porcentajes de curvas no cumple, sin embargo, estos porcentajes son más altos tornándose aun mas altos para la V_{TR} teórica mínima de diseño, tal como se puede apreciar en la tabla siguiente. (ver tabla 105)

Tabla 105. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen rampa de peralte

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (50Km/h)		Chequeo para VTR mínima teórica de diseño	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple	Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	28	16	57.14	26	92.86
	Izquierda	30	17	56.67	26	86.67
T6-2	Derecha	23	14	60.87	23	100.00
	Izquierda	23	15	65.22	23	100.00
T6-4	Derecha	7	4	57.14	6	85.71

- Entretangencia horizontal

El fundamento teórico para el presente parámetro no presenta variación respecto a lo expuesto en el análisis comparativo por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, sin embargo, este parámetro es función de la velocidad, la cual presenta variación debido a que el proceso de asignación es muy diferente, Por lo anterior se efectúa el estudio de este parámetro para un trayecto en particular. (ver tabla 106)

Tabla 106. Chequeo longitud de entretangencia horizontal V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

Entretangencia Número	Entretangencia existente (m)	Tipo de curvas adyacentes	Curvas adyacentes "del mismo sentido"	VETH (km/h)	Entretangencia teórica minima (m)	Entretangencia teórica máxima (m)	Observación
1	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
2	33.51	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
3	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
4	45.66	Espirales	SI	50.00	69.44	750.00	NO CUMPLE
5	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
6	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
7	127.21	Espirales	SI	50.00	69.44	750.00	CUMPLE
8	86.78	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
9	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
10	39.97	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
11	48.73	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
12	71.48	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
13	70.83	Espirales	SI	50.00	69.44	750.00	CUMPLE
14	132.14	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
15	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
16	67.85	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
17	145.31	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
18	210.79	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
19	39.73	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
20	28.60	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
21	537.49	Espirales	SI	70.00	97.22	750.00	CUMPLE
22	60.28	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
23	279.26	Espirales	SI	60.00	83.33	750.00	CUMPLE
24	33.96	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
25	3.55	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
26	20.58	Espirales	NO	60.00	0.00	750.00	CUMPLE
27	163.29	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE
28	0.00	Espirales	NO	50.00	0.00	750.00	CUMPLE

Del análisis anterior para el trayecto 6, se determina que para la V_{TR} real de diseño hay bajos porcentajes de curvas no cumple, determinándose que el parámetro es adecuado, mientras que para V_{TR} mínima teórica de diseño los porcentajes no cumple son mayores tornándose los valores como inadecuados bajo las condiciones en las cuales se desarrolla el diseño. (ver tabla 107)

Tabla 107. Entretangencias horizontales trayecto 6 no cumplen longitud de entretangencia

Trayecto	Calzada	Total de entretangencias Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (50Km/h)		Chequeo para VTR teórica mínima de diseño	
			Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple	Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple
T6-1	Derecha	28	1	3.57	2	7.14
	Izquierda	29	1	3.45	1	3.45
T6-2	Derecha	23	2	8.70	3	13.04
	Izquierda	23	0	0.00	3	13.04
T6-4	Derecha	6	0	0.00	2	33.33

- 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 108, para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) < 80 km/h y para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) ≥ 80 km/h. En las tablas 108 y 109, se indican los valores obtenidos con la relación indicada en la Tabla 108.

Tabla 108. Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas

CONDICIÓN	RADIO DE SALIDA
V_{CH} ≥ 80 Km/h	$1.5*R+1.05*10^{-8}*(R-250)^3*R$ 250 < R < 700
V_{CH} < 80 Km/h	$1.5*R+4.693*10^{-8}*(R-50)^3*R$ 50 < R < 300

Tabla 109. 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

[97] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

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
300	670	186	500	832	332
310	> 670	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		22	560	105	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	> 1720	453
480		253	740		462
490		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		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 T6-1 Calzada derecha, entendiendo que este es aplicable a los demás trayectos que componen el diseño (del trayecto 6). (ver tabla 110)

Tabla 110. Chequeo relación de radios de curvas horizontales contiguas T6-1 calzada derecha

PI No.	Radio Entrada	PI No.	Radio Salida (m)	Longitud Entretangencia (m)	VCH salida (Km/h)	Radio Minimo Salida (m)	Radio Maximo Salida (m)	Chequeo
1	106.90	2	120.00	0.00	50.00	71.14	161.35	CUMPLE
2	120.00	3	90.00	33.51	50.00	80.00	182.00	CUMPLE
3	90.00	4	112.51	0.00	50.00	60.00	135.00	CUMPLE
4	112.51	5	95.00	45.66	50.00	74.76	170.02	CUMPLE
5	95.00	6	73.00	0.00	50.00	63.50	143.00	CUMPLE
6	73.00	7	73.00	0.00	50.00	50.90	109.50	CUMPLE
7	73.00	8	573.02	127.21	50.00	50.90	109.50	NO CUMPLE
8	573.02	9	120.00	86.78	50.00	278.60	670.00	NO CUMPLE
9	120.00	10	68.50	0.00	50.00	80.00	182.00	NO CUMPLE
10	68.50	11	88.90	39.97	50.00	50.00	102.75	CUMPLE
11	88.90	12	80.00	48.73	50.00	59.23	133.35	CUMPLE
12	80.00	13	73.00	71.48	50.00	53.00	120.00	CUMPLE
13	73.00	14	73.00	70.83	50.00	50.90	109.50	CUMPLE
14	73.00	15	80.00	132.14	50.00	50.90	109.50	CUMPLE
15	80.00	16	73.00	0.00	50.00	53.00	120.00	CUMPLE
16	73.00	17	80.00	67.85	50.00	50.90	109.50	CUMPLE
17	80.00	18	80.00	145.31	50.00	53.00	120.00	CUMPLE
18	80.00	19	113.60	210.79	60.00	53.00	120.00	CUMPLE
19	113.60	20	93.02	39.73	60.00	75.52	171.76	CUMPLE
20	93.02	21	170.01	28.60	60.00	62.11	139.83	NO CUMPLE
21	170.01	22	400.00	537.49	70.00	112.00	269.00	NO APLICA
22	400.00	23	80.00	60.28	60.00	227.00	670.00	NO CUMPLE
23	80.00	24	80.00	279.26	60.00	53.00	120.00	CUMPLE
24	80.00	25	124.27	33.96	60.00	53.00	120.00	NO CUMPLE
25	124.27	26	184.01	3.55	60.00	82.99	188.83	CUMPLE
26	184.01	27	140.10	20.58	60.00	121.41	297.02	CUMPLE
27	140.10	28	200.00	163.29	50.00	93.00	215.00	CUMPLE
28	200.00	29	80.00	0.00	50.00	131.00	332.00	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, el análisis anterior solo se realizó para V_{TR} = 50 km/h, ya que para la velocidad teórica mínima de diseño se asocian velocidades especificas por debajo de 80 km/h, con lo cual se obtienen resultados similares al análisis ya efectuado. (ver tabla 111)

Tabla 111. Curvas horizontales trayecto 6 no cumplen relación entre radios de curvas contiguas

Trayecto	Calzada	Total de Relaciones Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (VTR = 50Km/h)	
			Número de curvas no cumple	Porcentaje de curvas no cumple
T6-1	Derecha	27	7	25.93
	Izquierda	29	8	27.59
T6-2	Derecha	23	7	30.43
	Izquierda	23	7	30.43
T6-4	Derecha	6	2	33.33

2.3.3 Diseño vertical:

2.3.3.1 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.

[98] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

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 112 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}). (ver tabla 112)

Tabla 112. Relación entre la pendiente máxima (%) y la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV})

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECIFICA 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 112, 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: (ver tabla 113)

Tabla 113. Chequeo pendiente máxima y mínima sección en perfil para V_{TR} real de diseño T6-1 calzada derecha

Alineamiento Horizontal No.	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	$m_{máx}$ (%)	$m_{mín}$ (%)	Chequeo	Alineamiento Horizontal No.	Pendiente Existente m (%)	VTV (Km/h)	$m_{máx}$ (%)	$m_{mín}$ (%)	Chequeo
1	-1.249	50.00	-	0.5	*	9	-6.610	50.00	-	0.5	*
2	-7.869	50.00	-	0.5	*	10	-8.183	60.00	-	0.5	*
3	-5.134	50.00	-	0.5	*	11	-6.931	60.00	-	0.5	*
4	-6.898	50.00	-	0.5	*	12	-8.781	60.00	-	0.5	*
5	-9.139	50.00	-	0.5	*	13	-5.224	60.00	-	0.5	*
6	-6.917	50.00	-	0.5	*	14	-7.372	50.00	-	0.5	*
7	-5.895	50.00	-	0.5	*	15	-1.524	50.00	-	0.5	*
8	-9.513	50.00	-	0.5	*						

[99] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

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 no es posible efectuar ningún tipo de comparación respecto a valores límite, debido a que para las velocidades especificas asociadas a este V_{TR} no existe valor de pendiente máxima asociada a la categoría de la vía (en este caso principal de dos calzadas), por otro lado, para la V_{TR} teórica mínima de diseño se tiene que el diseño presenta elevados porcentajes de curvas no cumplen. (ver tabla 114)

Tabla 114. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen pendiente máxima y mínima

Trayecto	Calzada	Total de Entretangencias Analizadas	Chequeo para Vd real de diseño = 50Km/h		Chequeo para Vd teórica mínima de diseño = 80 Km/h	
			Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple	Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple
T6-1	Derecha	15	-	-	10	66.67
	Izquierda	18	-	-	12	66.67
T6-2	Derecha	13	-	-	6	46.15
	Izquierda	17	-	-	12	70.59
T6-4	Derecha	9	-	-	5	55.56

2.3.3.2 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 115 se presentan los valores para diferentes Velocidades Específicas de la tangente vertical (V_{TV}). (ver tabla 115)

Tabla 115. Longitud mínima de la tangente vertical"[100]

VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MINIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

[100] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 129

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 tabla 116)

Tabla 116. Longitud mínima entretangencias verticales T6 - 1 calzada derecha V_{TR} real de diseño

Entretangencia número	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Minima (m)	Chequeo	Entretangencia número	Longitud Existente (m)	VTV (Km/h)	Longitud Minima (m)	Chequeo
1	221.60	50.00	140.00	CUMPLE	8	628.53	50.00	140.00	CUMPLE
2	180.52	50.00	140.00	CUMPLE	9	692.97	60.00	170.00	CUMPLE
3	142.82	50.00	140.00	CUMPLE	10	818.31	60.00	170.00	CUMPLE
4	1014.38	50.00	140.00	CUMPLE	11	542.93	60.00	170.00	CUMPLE
5	305.55	50.00	140.00	CUMPLE	12	369.37	60.00	170.00	CUMPLE
6	480.00	50.00	140.00	CUMPLE	13	346.12	50.00	140.00	CUMPLE
7	532.90	50.00	140.00	CUMPLE	14	107.81	50.00	140.00	NO CUMPLE

Respecto a este parámetro, para la V_{TR} real de diseño se considera que es aceptable, debido a bajos porcentajes de entretangencias no cumplen, mientras que para la V_{TR} teórica mínima de diseño los porcentajes de entretangencias no cumplen son elevados, estableciéndose que este parámetro es inadecuado. (ver tabla 117)

Tabla 117. Tangentes verticales trayecto 6 no cumplen longitud mínima

Trayecto	Calzada	Total de Entretangencias Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (VTR= 50Km/h)		Chequeo para VTR teórica mínima de diseño	
			Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple	Número de entretangencias no cumple	Porcentaje de entretangencias no cumple
T6-1	Derecha	14	1	7.14	3	21.43
	Izquierda	16	3	18.75	5	31.25
T6-2	Derecha	11	1	9.09	2	18.18
	Izquierda	15	1	6.67	7	46.67
T6-4	Derecha	7	1	14.29	2	28.57

- 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. En este caso por tratarse de una vía de doble calzada con dos sentidos de dirección, no tiene aplicación este análisis, dado que el problema de tránsito lento no se presentara, por lo cual no será objeto de estudio, sin dejar de resaltar la importancia del análisis de este aspecto en proyectos de carreteras que lo requieran.

2.3.3.3 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 (D_P). 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 (D_a).

Curvas convexas:

"El control de la distancia de visibilidad de parada (D_P) 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:

$$Kmin = \frac{L}{A} \qquad [40]$$

Y utilizando la ecuación adoptada se tiene:

$$K = \frac{Dp^2}{65} \qquad [41]$$

Los valores de $K_{mín}$ para curvas convexas se presentan en la Tabla 109 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:

$$Lmin = Kmin * A \qquad [42]$$

Donde A en porcentaje (%) y Lmin en metros."[101]

Curvas cóncavas:

"Los valores de $K_{mín}$ para curvas cóncavas se presentan en la Tabla 118 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:

[101] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 138

$$Lmin = Kmin * A \quad [43]$$

Donde A en porcentaje (%) y Lmin en metros."[102]

Tabla 118. Valores de $K_{mín}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales

VELOCIDAD ESPECIFICA V_{CV} (Km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{min}				LONGITUD MINIMA 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	2.0	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:

$$Lmin = 0.6\ V_{CV} \quad [44]$$

Donde:

$L_{mín}$: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{CV}: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h"[103]

[102] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 138

[103] Ibíd., p 139

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:

$$Lmin = 0.6\ V_{CV} \quad [45]$$

Donde:

$L_{mín}$: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{cv}: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h"[104]

- 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 S_1 y S_2 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.

$$Kmax = \frac{30}{0.6} = 50 \quad [46]$$

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]

$$Lmax = Kmax * A \quad [47]$$

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

[104] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 139
[105] Ibíd. ,p 139

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 119)

Tabla 119. Longitud mínima y máxima curvas verticales T6 - 1 calzada derecha

Curva No.	Tipo de curva	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	Vcv (Km/h)	K min	Longitud Minima (m)		Longitud Maxima (m)	Longitud Existente (m)	Chequeo
							Criterio Seguridad	Criterio Operación	Criterio Drenaje		
1	Convexa	-1.249	-7.869	6.620	70.00	17.00	112.54	42.00	331.00	100.00	CUMPLE
2	Cóncava	-7.869	-5.134	2.735	70.00	23.00	62.91	42.00	136.75	154.14	NO CUMPLE
3	Convexa	-5.134	-6.898	1.764	70.00	17.00	29.99	42.00	88.20	112.12	NO CUMPLE
4	Convexa	-6.898	-9.139	2.241	70.00	17.00	38.10	42.00	112.05	130.82	NO CUMPLE
5	Cóncava	-9.139	-6.910	2.229	70.00	23.00	51.27	42.00	111.45	151.32	NO CUMPLE
6	Cóncava	-6.910	-5.895	1.015	70.00	23.00	23.35	42.00	50.75	80.00	NO CUMPLE
7	Convexa	-5.895	-9.513	3.618	70.00	17.00	61.51	42.00	180.90	389.37	NO CUMPLE
8	Cóncava	-9.513	-6.610	2.903	70.00	23.00	66.77	42.00	145.15	328.04	NO CUMPLE
9	Convexa	-6.610	-8.183	1.573	70.00	17.00	26.74	42.00	78.65	139.27	NO CUMPLE
10	Cóncava	-8.183	-6.931	1.252	80.00	30.00	37.56	48.00	62.60	500.00	NO CUMPLE
11	Convexa	-6.931	-8.781	1.850	80.00	26.00	48.10	48.00	92.50	145.95	NO CUMPLE
12	Cóncava	-8.781	-5.224	3.557	70.00	23.00	81.81	42.00	177.85	118.40	CUMPLE
13	Convexa	-5.224	-7.372	2.148	70.00	17.00	36.52	42.00	107.40	100.00	CUMPLE
14	Cóncava	-7.372	-1.524	5.848	70.00	23.00	134.50	42.00	292.40	100.00	CUMPLE

Respecto a este parámetro, se presentan altos porcentajes de curvas verticales no cumplen con longitud máxima y mínima, la mayoría de ellas están por encima del valor máximo condicionado por el criterio de drenaje, determinándose que sus valores no son adecuados para el presente diseño, lo anterior aplica tanto para la V_{TR} real de diseño, como para la V_{TR} teórica mínima de diseño. (ver tabla 120)

[106] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 142

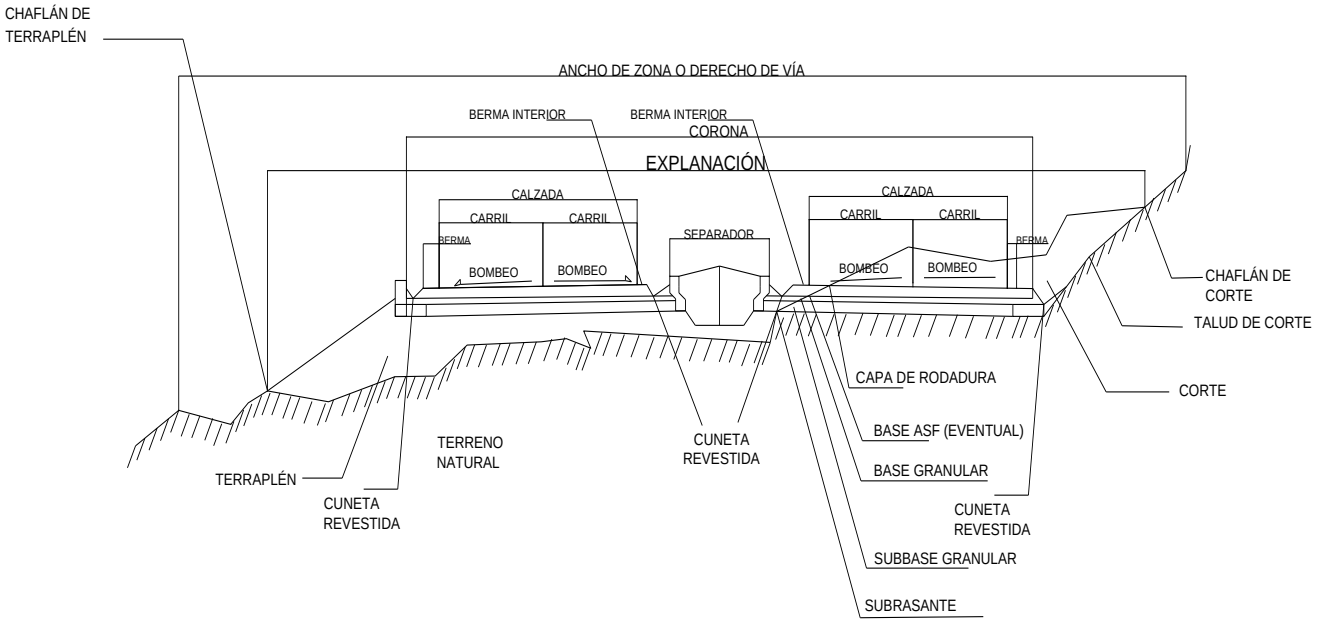
Tabla 120. Curvas verticales trayecto 6 no cumplen longitud máxima y mínima

Trayecto	Calzada	Total de Curvas Analizadas	Chequeo para VTR real de diseño (V_{TR} = 50Km/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
T6-1	Derecha	14	10	71.43	10	71.43
	Izquierda	17	8	47.06	8	47.06
T6-2	Derecha	12	3	25.00	3	25.00
	Izquierda	16	4	25.00	4	25.00
T6-4	Derecha	8	1	12.50	2	25.00

2.3.4 Sección transversal:

2.3.4.1 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 dos calzadas.

"Figura 3. Sección transversal típica para carretera principal de dos calzadas"[107]



- 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.

[107] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 148

- 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 121, 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.

Tabla 121. Ancho de calzada (metros)"[110]

Categoria de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (V_{TR}) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	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	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	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	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 122. Porcentajes de tipo de terreno _ terreno predominante

[108] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 147

[109] Ibíd., p 151

[110] Ibíd. ,p 151

Trayecto	Calzada	Terreno Escarpado (%)	Terreno Montañoso (%)	Terreno Ondulado (%)	Terreno Plano (%)	Tipo de Terreno predominante
T6-1	Derecha	0.00	67.09	31.41	1.50	Montañoso
	Izquierda	0.00	62.31	37.69	0.00	Montañoso
T6-2	Derecha	0.00	66.08	33.92	0.00	Montañoso
	Izquierda	0.00	77.92	22.08	0.00	Montañoso
T6-4	Derecha	0.00	0.00	94.94	5.06	Ondulado

Con base en el tipo de terreno predominante para cada trayecto y con la velocidad de diseño del tramo homogéneo, entrando en la tabla 122, determinamos 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 T6_1 y T6_2 tanto para calzada derecha e izquierda la V_{TR} correspondiente es igual a 70 Km/h y para un terreno montañoso se determina que el ancho de calzada mínimo teórico es de 7.3 m; para el T6_4 al cual le corresponde un V_{TR} = 80 Km/h y tipo de terreno ondulado 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).

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 123, se presentan los valores correspondientes.

Tabla 123. 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%

[111] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 151

(valor muy frecuente en proyectos de diseño geométrico); ya que de acuerdo al tipo de superficie de rodadura a emplear correspondiente a concreto asfaltico 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 T6 (T6-1CD, T6-1CI, T6-2CD, T6-2CI y T6-4CD) 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 sicológicamente 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]

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 124, se presenta el ancho que deben tener.

Tabla 124. Ancho de bermas

Categoria de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (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	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	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	2.5	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.8	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	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,

[112] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 152

existirán bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior."[113]

De tabla anterior, se tiene dos situaciones: la primera para carretera primaria de dos calzadas y V_{TR} real de diseño e igual 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 encontramos para la V_{TR} teórica mínima de diseño, que para los trayectos T6_1 y T6_2 tanto para calzada izquierda como derecha corresponde a 70 Km/h, categoría de la vía primaria de dos calzadas y tipo de terreno montañoso, tenemos anchos de berma de 1.8 y 0.5 m para derecha e izquierda respectivamente. Para el trayecto T6_4 para las condiciones de V_{TR} = 80 Km/h, terreno ondulado y categoría de la vía principal de dos calzadas, tenemos anchos de berma de 2.0 y 1.0 m para derecha e izquierda respectivamente. De lo anterior se logra determinar que los anchos mínimos teóricos de berma para el trayecto T_6 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). (ver tabla 125)

2.3.5 Resumen de resultados:

Tabla 125. Cuadro resumen parámetros analizados manual para el diseño geométrico de carreteras año 2008

Parametros Objeto de Analisis			Porcentaje no cumple Manual año 2008
Diseño en Planta del Eje de la Carretera	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DVP EN PLANTA		48.21%
	RADIOS MINIMOS CURVAS HORIZONTALES		6.25%
	SOBREANCHO CURVAS HORIZONTALES		100.00%
	LONGITUD ENTRETANGENCIA HORIZONTAL		3.67%
	RELACIÓN ENTRE RADIOS DE CURVAS CONTIGUAS		28.70%
	CURVAS ESPIRALES	LONGITUD CIRCULAR MINIMA EMPALME E - C - E	25.29%
		DEFLEXIONES LIMITE EMPALME E - E	29.17%
		LONGITUD ESPIRAL Le	50.89%
	PERALTE	PERALTE CURVAS HORIZONTALES	46.43%
		LONGITUD DE TRANSICIÓN	33.33%
		RAMPA DE PERALTE	59.46%
Diseño Vertical	PENDIENTE TANGENTE VERTICAL		*
	LONGITUD MINIMA Y MAXIMA CURVA VERTICAL		9.59%
	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DVP EN PERFIL		0.00%
Sección Transversal	ANCHO DE ZONA MINIMO		0.00%
	ANCHO CALZADA		0.00%
	ANCHO DE BERMA		100.00%

[113] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 153

Una vez finalizado el análisis para el Diseño Geométrico de Carreteras mediante Manual año 2008, es posible establecer lo siguiente:

Se presentan dos parámetros críticos en el diseño como lo son: Ancho de Berma y Sobreancho en curvas horizontales, debido a que presentan porcentajes de cumplimiento del 0% (o de no cumplimiento del 100%), los cuales deben ser objeto de estudio y análisis más profundo, debido a que pueden constituirse en generadores de problemas de la vía a nivel operativo y funcional.

De manera general, se concluye que el diseño es INADECUADO respecto al sustento teórico – conceptual presentado en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008, esto debido a que se podría de hablar que es adecuado siempre y cuando se cumpla a cabalidad con todos los parámetros que intervienen y definen el diseño.

Pese a lo anterior, el diseño se ajusta de mejor manera al presentado en el manual para el Diseño Geométrico año 1998, esto debido a que el presente diseño objeto de estudio fue desarrollado con base en este.

2.4 ANALISIS DEL DISEÑO GEOMETRICO PARA CARRETERAS DEL TRAYECTO 6 REFERENCIADO A MANUALES AÑOS 1998 Y 2008. CUADRO COMPARATIVO- PORCENTUAL PRINCIPALES PARAMETROS

Una vez finalizado el análisis del Diseño Geométrico del Trayecto 6 perteneciente a la concesión variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”, se presenta un cuadro a nivel comparativo con los resultados obtenidos 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 (los cuales fueron objeto de estudio) y de los cuales se puede establecer comparación, además son parámetros con información suficiente respecto al diseño presentado por DEVINAR SA, lo que permite desarrollar un estudio y análisis con un gran margen de seguridad. 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 Vd = 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, no se indica cuadro comparativo, ya que su estudio 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, además los valores así obtenidos son teóricos; se aclara además, que este análisis no constituye en un nuevo diseño, sino que se

efectuó con fines académicos para el desarrollo del presente trabajo de grado. (ver tabla 126)

Tabla 126. Cuadro comparativo-porcentual principales parámetros

Parametros Objeto de Analisis			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%	48.21%
	RADIOS MINIMOS CURVAS HORIZONTALES		39.29%	6.25%
	SOBREANCHO CURVAS HORIZONTALES		100.00%	100.00%
	LONGITUD ENTRETANGENCIA HORIZONTAL		3.67%	3.67%
	RELACIÓN ENTRE RADIOS DE CURVAS CONTIGUAS		-	28.70%
	CURVAS ESPIRALES	LONGITUD CIRCULAR MINIMA EMPALME E - C - E	9.10%	25.29%
		DEFLEXIONES LIMITE EMPALME E - E	29.17%	29.17%
		LONGITUD ESPIRAL Le	49.11%	50.89%
	PERALTE	PERALTE CURVAS HORIZONTALES	4.48%	46.43%
		LONGITUD DE TRANSICIÓN	33.33%	33.33%
		RAMPA DE PERALTE	43.24%	59.46%
Diseño Vertical	PENDIENTE TANGENTE VERTICAL		*	*
	LONGITUD MINIMA Y MAXIMA CURVA VERTICAL		2.99%	9.59%
	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DVP EN PERFIL		0.00%	0.00%
Sección Transversal	ANCHO DE ZONA MINIMO		0.00%	0.00%
	ANCHO CALZADA		0.00%	0.00%
	ANCHO DE BERMA		100.00%	100.00%

En general, el diseño geométrico del trayecto 6 presenta mayor conformidad 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 SA se hizo con base a este.

Aunque no se debe desconocer que algunos parámetros como *radios mínimos* en curvas horizontales y *peralte máximo* se ajustan mejor a los conceptos emitidos en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 2008. Por una parte para el parámetro de *radios mínimos* en curvas horizontales, se presentan valores de diseño mínimos para radios, iguales a 73 m, valor que se encuentra asociado a una V_{CH} de 50 Km/h en el manual del año 2008; lo que demuestra claramente que dicho valor se tomo a partir de este manual, ya que para el análisis efectuado en el numeral 8.2 (con base en el manual de 1998) el valor de radio mínimo para diseño asociado a una Vd de 50 Km/h son 80 m. Por otra parte, para el parámetro *peralte máximo*, pese al alto porcentaje de curvas horizontales no cumplen para el análisis efectuado mediante el manual del año 2008 (incluso mayor al efectuado mediante el manual del año 1998) los valores teóricos se aproximan de mejor manera a los de diseño según lo expuesto en este, esto originado por el uso radios de diseño asociados al fundamento teórico expuesto al manual del año 2008, siendo el radio una de las variables más importantes para el cálculo del peralte.

El diseño del trayecto 6, presenta alta conformidad respecto a algunos parámetros incluso con porcentajes de cumplimiento del 100%, tal son los casos de: *Distancia de visibilidad de parada DVP en planta para manual año 1998*, *Distancia de visibilidad de parada DVP en perfil* y para la sección transversal en *ancho de zona* y *ancho de calzada*, los últimos aplican tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

Por el contario, existen en el diseño algunos parámetros cuya inconformidad respecto a lo expuesto en los manuales es del 100%, tal son los casos de: *Sobreancho de Calzada* en curvas horizontales y *Ancho de Bermas* (sección transversal), los anteriores se convierten en parámetros críticos del diseño del trayecto 6, lo que puede generar problemas de operación, seguridad, economía y rapidez en el proyecto ya terminado, esto aplica tanto para el análisis efectuado mediante el manual del año 1998 y 2008.

*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 dos calzadas y los tipos de terrenos predominantes a lo largo del trayecto 6 (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.

Para los parámetros restantes como se dijo anteriormente 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, generalmente 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 definen el diseño, por lo cual el diseño objeto de estudio y análisis comparativo se cataloga como Inadecuado en un alto porcentaje bajo las condiciones que se desarrolla en cuanto a diseño y construcción de la varíate “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI – AEROPUERTO”, para el trayecto 6.

3. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES ANALISIS COMPARATIVO REFERENCIADO AL MANUAL PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS AÑO 1998

Al comparar el valor de Velocidad de diseño Vd mínima igual a 80 km/h, 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 DEVINAR S.A., este último valor no satisface las necesidades mínimas que requiere el Diseño Geométrico de este trayecto.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 33 curvas verticales analizadas, para el criterio de distancia de visibilidad de parada DVP en perfil referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 Km/h este parámetro se cumple satisfactoriamente y para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 11 curvas (33.33%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 curvas horizontales analizadas, para el criterio de distancia de visibilidad de parada DVP en planta referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 Km/h este parámetro se cumple satisfactoriamente y para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 106 curvas (96.50%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 112 curvas horizontales analizadas, para el criterio de radios mínimos absolutos referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 Km/h no cumplen 44 curvas (39.29%) y para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 107 curvas (95.54%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6, ninguna de las curvas horizontales presentan sobreancho, sin embargo se efectúa el siguiente análisis: con un número total de 112 curvas horizontales analizadas, para el criterio de sobreancho referenciado al manual del año 1998, para 55 curvas (49.11%) este parámetro no aplica debido a que resulta un sobreancho menor a 0.6 m (el cual constructivamente es el adecuado), mientras que las 57 curvas restantes (50.89%) este parámetro es aplicable, pero de las cuales el 100% de curvas no cumplen (57 curvas).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 el análisis del parámetro Flecha M, se presenta a manera de estudio teórico, debido a que no se puede establecer comparación con valores empleados en el diseño, ya 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 6 con un número total de 87 curvas horizontales diseñadas con acuerdo Espiral – Circulo - Espiral, para el criterio de Longitud circular mínima referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 km/h no cumplen 7 curvas (8.05%) y para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen 15 curvas (17.24%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 24 curvas horizontales diseñadas con acuerdo de tipo Espiral – Espiral, para el criterio deflexiones limite ($\Delta T \leq 20$ Grados y $\theta e \leq 10$ Grados) referenciado al manual del año 1998, no cumplen 7 curvas (29.17%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 112 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de espiral Le referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 km/h no cumplen 55 curvas (49.11%) y para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen 109 curvas (97.32%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 67 curvas horizontales analizadas, para el criterio de peralte máximo referenciado al manual del año 1998, no cumplen 3 curvas (4.48%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de transición referenciado al manual del año 1998, para empalmes E-E no cumplen 23 curvas (20.72%) y para empalmes E-C-E no cumplen 14 curvas (12.61%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 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 48 curvas (43.24%) y para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 105 curvas (94.59%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 109 entretangencias horizontales, para el criterio de entretangencias horizontales referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 km/h no cumplen 4 curvas (3.67%) y para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen 13 curvas (11.93%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 72 entretangencias verticales, para el criterio de pendiente en Tangentes Verticales referenciado al manual del año 1998, para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 40 curvas (55.56%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 67 curvas verticales, para el criterio de longitud mínima de curvas verticales referenciado al manual del año 1998, para velocidad real de diseño de 50 km/h no cumplen 2 curvas (2.99%) y para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen 35 curvas (52.24%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de zona mínimo referenciado al manual del año 1998, se presenta un cumplimiento del 100%, por lo cual este criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de calzada referenciado al manual del año 1998, se presenta un cumplimiento del 100%, por lo cual este criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de berma referenciado al manual del año 1998, ninguna cumple con el presente parámetro, por lo cual se define que este es totalmente inadecuado.

Para el análisis comparativo referenciado al Manual del año 1998, se presentan dos parámetros críticos, que son: ancho de berma y sobreancho de calzada con porcentajes de cumplimiento del 0%, por lo cual estos se tornan totalmente inadecuados dentro del diseño.

De manera general, el diseño es INADECUADO respecto al sustento teórico presentado por el Manual del año 1998, debido a la alta cantidad de parámetros con porcentajes de no cumplimiento elevados.

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 establecidos por el INVIAS en su manual del año 2008 para el trayecto 6, este valor de V_{TR} (50 km/h) no satisface las necesidades mínimas que requiere el Diseño Geométrico de este trayecto.

Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 33 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 se cumple satisfactoriamente y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 9 curvas (27.27%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 curvas horizontales analizadas, para el criterio de distancia de visibilidad de parada DVP

en planta referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de 50 km/h no cumplen 54 curvas (48.65%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 103 curvas (92.79%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 112 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 no cumplen 7 curvas (6.25%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 101 curvas (90.18%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6, ninguna de las curvas horizontales presenta sobreancho, sin embargo se efectúa el siguiente análisis: con un número total de 112 curvas horizontales analizadas, para el criterio de sobreancho para vehículos rígidos referenciado al manual del año 2008, para 55 curvas (49.11%) este parámetro no aplica debido a que resulta un sobreancho menor a 0.6 m (el cual constructivamente es el adecuado), mientras que las 57 curvas restantes (50.89%) este parámetro es aplicable, pero de las cuales el 100% de curvas no cumplen (57 curvas).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6, ninguna de las curvas horizontales presenta sobreancho, sin embargo se efectúa el siguiente análisis: con un número total de 112 curvas horizontales analizadas, para el criterio de sobreancho para vehículos articulados referenciado al manual del año 2008, para 71 curvas (63.39%) este parámetro no aplica debido a que resulta un sobreancho menor a 0.6 m (el cual constructivamente es el adecuado), mientras que las 41 curvas restantes (36.61%) este parámetro es aplicable, pero de las cuales el 100% de curvas no cumplen (41 curvas).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 87 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 22 curvas (25.29%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 29 curvas (33.33%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 24 curvas horizontales diseñadas con acuerdo de tipo Espiral – Espiral, para el criterio deflexiones limite ($\Delta T \leq 20$ Grados y $\theta e \leq 10$ Grados) referenciado al manual del año 2008, no cumplen 7 curvas (29.17%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 114 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de espiral Le referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de 50 km/h no cumplen 57 curvas (50.00%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 106 curvas (92.98%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 112 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 52 curvas (46.43%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 43 curvas (38.39%), pese a estos elevados porcentajes de peralte que no cumplen los valores de diseño están muy cercanos a los teóricos.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 curvas horizontales analizadas, para el criterio de longitud de transición referenciado al manual del año 2008, para empalmes E-E no cumplen 23 curvas (20.72%) y para empalmes E-C-E no cumplen 14 curvas (12.61%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 111 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 66 curvas (59.46%) y para velocidad teórica mínima de 80 Km/h no cumplen 104 curvas (93.69%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 109 entretangencias horizontales, para el criterio de entretangencias horizontales referenciado al manual del año 2008, para velocidad real de diseño de 50 km/h no cumplen 4 curvas (3.67%) y para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen 11 curvas (9.90%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 108 relaciones 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 31 relaciones (28.70%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 31 relaciones (28.70%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 62 entretangencias en sección de perfil, para el criterio de pendiente en Tangentes Verticales referenciado al manual del año 2008, para velocidad teórica mínima de 80 km/h no cumplen el 62.50 % de curvas

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 63 entretangencias en sección de perfil, para el criterio de longitud mínima referenciado al manual del año 2008, para V_{TR} real de diseño de 50 km/h no cumplen 7 curvas (11.11%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 19 curvas (30.16%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 67 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 no cumplen 26 curvas (38.81%) y para V_{TR} teórica mínima de 80 km/h no cumplen 27 curvas (40.30%).

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de zona mínimo referenciado al manual del año 2008, se presenta un cumplimiento del 100%, por lo cual este criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de calzada referenciado al manual del año 2008, se presenta un cumplimiento del 100%, por lo cual este criterio es totalmente adecuado.

En el Diseño Geométrico del trayecto 6 con un número total de 121 secciones transversales analizadas, para el criterio de ancho de berma referenciado al manual del año 2008, ninguna de ellas cumplen con este criterio, por lo cual se concluye que el presente parámetro es totalmente inadecuado.

Para el análisis comparativo referenciado al Manual del año 2008, se presentan dos parámetros críticos, que son: ancho de berma y sobreancho de calzada con porcentajes de cumplimiento del 0%, por lo cual estos se tornan totalmente inadecuados dentro del diseño.

De manera general, el diseño es INADECUADO respecto al sustento teórico presentado por el Manual del año 2008, debido a la alta cantidad de parámetros con porcentajes de no cumplimiento elevados.

El presente Diseño se torna Inadecuado respecto al Diseño en Planta presentado, debido a altos porcentajes de no cumplimiento respecto a los parámetros objeto de estudio, con base en el estudio efectuado con el Manual para el Diseño Geometrico de Carreteras año 1998 y 2008.

El presente Diseño se torna Inadecuado respecto al Diseño Vertical presentado, debido a altos porcentajes de no cumplimiento respecto a los parámetros objeto de estudio, con base en el estudio efectuado con el Manual para el Diseño Geometrico de Carreteras año 1998 y 2008.

Respecto a la sección transversal del diseño presentado, es la que mejor se ajusta a lo establecido en el Manual para el Diseño Geometrico de carreteras año 1998 y 2008, siendo el Ancho de Berma el único parámetro que no se cumple con un porcentaje del 100%.

El Diseño Geometrico de la Doble Calzada Trayecto 6 (T6_1, T6_2 Y T6_4) de la Concesión Variante Rumichaca – Pasto - Chachagüi – Aeropuerto es inconforme respecto a los parámetros base que definen el diseño conforme a lo expuesto en la Normatividad para los años 1998 y 2008, definiéndose que este no cumple y es Inadecuado, pudiendo presentarse en un futuro problemas a nivel operativo y funcional de la vía bajo las condiciones que la definen.

Una vez efectuado el estudio del Diseño Geometrico de la Doble Calzada Trayecto 6 (T6_1, T6_2 Y T6_4) de la Concesión Variante Rumichaca – Pasto - Chachagüi – Aeropuerto con base en la Normatividad de los años 1998 y 2008, se determina que el Diseño presenta mayor conformidad respecto a lo expuesto en la edición del año 1998, con lo cual bajo este último se define que la carretera es más segura al transitar, cómoda durante el recorrido, económica para el usuario y de transito más rápido, optimizando tiempos de recorrido.

El parámetro más importante que define y sirve de control para el Diseño Geometrico es la Velocidad, sin embargo en el actual análisis se encontró que esta no se ajusta a las condiciones de diseño de la Doble Calzada Trayecto 6 (T6_1, T6_2 Y T6_4) de la Concesión Variante Rumichaca – Pasto - Chachagüi – Aeropuerto lo cual se puede reflejar en el incumplimiento de las necesidades que el usuario demanda al transitar por la vía.

El Diseño Geométrico de la Doble Calzada Trayecto 6 (T6_1, T6_2 Y T6_4) de la Concesión Variante Rumichaca – Pasto - Chachagüi – Aeropuerto presenta falencias en los distintos elementos que lo integran, principalmente en el alineamiento en planta y en perfil; por tanto no satisface al 100% las necesidades del usuario en cuanto a un tránsito cómodo, seguro, económico y eficiente ni las exigencias mínimas y máximas establecidas para tal fin por la normatividad del INVIAS.

Los elementos que integran el Diseño de la Sección Transversal de la Doble Calzada Trayecto 6 (T6_1, T6_2 Y T6_4) de la Concesión Variante Rumichaca – Pasto - Chachagüi – Aeropuerto tales como: Ancho de Zona, Corona, Calzada y Carriles tanto para la normatividad del año 1998 como para la del año 2008 presentan valores satisfactorios y acordes con el tipo de carretera, velocidad de diseño y tipo de terreno. Mientras que los anchos de bermas, se encuentran en su totalidad por debajo del valor mínimo y se considera un parámetro critico mediante su análisis en las dos versiones de la normatividad.

Existen parámetros críticos en el diseño, debido no solo a los bajos porcentajes de cumplimiento que ellos presentan, sino por el grado de importancia que revisten en el diseño, tal es el caso del parámetro Radios Mínimos de Curvatura cuyo estado de cumplimiento o no, definen si un tramo curvo es funcional o no y si pueden llegarse a presentar problemas de tipo operativo reflejado con índices de accidentabilidad.

El Diseño Geometrico resulta Adecuado, cuando cumple con las necesidades del usuario en todos las secciones que se analizan: Planta, Perfil y Sección Transversal, por lo cual debe existir consistencia y cumplimiento del 100% para que sea adecuada, requisito que el presente diseño no cumple, estableciéndose que el diseño no es Adecuado según lo expuesto en el Manual para el Diseño Geometrico de Carreteras.

Se debe entender que uno de los principales limitantes para el Desarrollo Geometrico de una vía es el terreno en donde se efectúa, mas aun en zonas como la región Andina en donde el terreno presenta topografías difíciles, sin embargo se debe complementar esta junto con las demás condiciones que definen el trazado para desarrollar un diseño adecuado.

4. RECOMENDACIONES

Asignar velocidades a los diferentes elementos que componen el diseño geométrico, acordes con las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proyecto con base en lo expuesto por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras.

Establecer sobreanchos en curvas horizontales que lo requieran y cuyo valor sobrepase el de referencia desde el punto de vista constructivo, debido a que este parámetro es de gran importancia para brindar un margen de seguridad al conductor durante el recorrido en curvas de sección en planta.

Modificar el valor de ancho de berma para la sección transversal de todo el trayecto 6, debido a que los valores empleados en el diseño no corresponden a los establecidos teóricamente de acuerdo a las condiciones del proyecto en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras, esto genera mayor seguridad y funcionalidad del diseño y de la vía una vez construida.

Establecer valores de radios mínimos para curvas horizontales con base en la edición del manual con la cual se desarrolla el diseño (Manual para el Diseño Geométrico del año 1998).

Generar un estudio más profundo de aquellos puntos denominados 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.

En general, efectuar ajustes a parámetros que lo requieran y permitan optimizar el diseño geométrico de carreteras del trayecto 6 de la variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”.

BIBLIOGRAFÍA

ALONZO SALOMÓN, Lauro Ariel y RODRÍGUEZ RUFINO, Gabriel J. Carreteras. UADY, 2005.

BRAVO, Paulo Emilio. Diseño de Carreteras. Técnicas y análisis del proyecto. 6ª ed. Bogotá: Cargraphics S.A, 1998.

CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2002.

CUELLAR, Enrique. Ingeniería de carreteras, Volumen 1. Universidad de Texas. Editorial Universitaria, 1960.

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

_____, Apuntes de Diseño Geométrico de Vías. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1990.

GARBER, Nicholas J. y HOEL, Lester A. Ingeniería de tránsito y de carreteras. 3ª ed. Thomson, 2004.

_____, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008.

GUDIÑO DAVILA, Miguel Ángel. Trazado de Vías en Planta. Pasto: Universidad de Nariño, 1993.

MORALES SOSA, Hugo Andrés. Ingeniería Vial I. INTEC, 2006.

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.

ANEXOS

ANEXO A. PLANOS – TABLA PUNTOS/SECTORES CRÍTICOS PARA MANUAL AÑO 1998

El presente anexo presenta los puntos/sectores críticos presentes en el diseño con base en los principales parámetros objeto de análisis, para el trayecto 6 de la variante “RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI - AEROPUERTO”

Para efectos del presente análisis, se establecen convenciones para determinar el nivel o grado de que tan crítico es un sector o elemento en específico, a medida que este se torne en mayor o menor grado cambiara de color, las convenciones se indican a continuación:

Para Curvas horizontales:

	Muy Adecuado. Aplica para elementos geométricos, que cumplen a cabalidad (100%) los parámetros objeto de estudio y análisis.
	Adecuado. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen un parámetro objeto de estudio y análisis.
	Aceptable y/o Regular. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen dos parámetros objeto de estudio y análisis.
	Critico. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen tres parámetros objeto de estudio y análisis.
	Muy crítico. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen cuatro o más parámetros objeto de estudio y análisis.

Para Entretangencias horizontales:

	Muy Adecuado. Aplica para elementos geométricos, que cumplen a cabalidad (100%) los parámetros objeto de estudio y análisis.
	Aceptable y/o Regular. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen un parámetro objeto de estudio y análisis.
	Muy crítico. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen dos o más parámetros objeto de estudio y análisis.

Para Curvas verticales:

	Muy Adecuado. Aplica para elementos geométricos, que cumplen a cabalidad (100%) los parámetros objeto de estudio y análisis.
	Aceptable y/o Regular. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen un parámetro objeto de estudio y análisis.
	Muy crítico. Aplica para elementos geométricos, que no cumplen dos o más parámetros objeto de estudio y análisis.

Para entretangencias verticales:

Bajo las condiciones en que el proyecto se desarrolla no es posible establecer mediante el parámetro de pendientes si una entretangencia está bien o mal establecida respecto al fundamento teórico expuesto en el Manual para el Diseño Geometrico de Carreteras, por lo cual para este tipo de elementos geométricos no se establecen sectores o elementos críticos presentes en el diseño.

Nota: Se aclara que los puntos y/o sectores críticos se establecen mediante el análisis efectuado con base en el Manual para el Diseño Geometrico de Carreteras año 1998 (para Vd = 50 Km/h), debido a que este se tomo como referencia para desarrollar el diseño presentado por DEVINAR S.A, siendo esto lo que constructivamente se aplicara en campo y las condiciones bajo las cuales el usuario recorrerá la vía.

Las tablas para puntos/sectores críticos sirve de base para establecer los puntos y sectores sobre planos, estas se encuentran anexas al presente trabajo en medio magnético (CD).

ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO PUNTOS CRÍTICOS.

Los resultados obtenidos a partir del estudio efectuado, permiten determinar que para la sección en planta se presentan elementos geométricos críticos considerables, en cuanto a cantidad y complejidad de ciertos elementos en específico, la anterior situación es más crítica para elementos curvos que para entretangencias.

Además, la construcción de la doble calzada comprendida entre RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI – AEROPUERTO y más exactamente para el Trayecto 6, comprendido entre el sector de DAZA y el AEROPUERTO, se proyecta la funcionalidad de la vía actual como Calzada Izquierda Sentido Sur – Norte y la construcción de una nueva para la circulación en el mismo sentido, la cual correspondería a Calzada Derecha, teniendo en cuenta lo anterior, es posible determinar sectores críticos para las condiciones actuales de la vía, la cual se constituye en la Calzada Izquierda del presente Diseño.

Como complemento al presente trabajo, se elabora un registro fotográfico para aquellos puntos del diseño (especialmente en planta) considerados como críticos; se consideran críticos debido a que presentan inconformidad respecto a más de uno de los parámetros analizados en el presente estudio, el estudio fotográfico se compone de un total de 22 curvas, de las cuales 6 corresponden al T6_1 Calzada Izquierda, 16 al T6- 2 Calzada Derecha, y de 1 entretangencia critica que pertenece al trayecto T6_1 Calzada Izquierda, sin embargo, no se expondrán todos los puntos denominados como “críticos” debido a que el trabajo se extendería demasiado, por lo tanto se determinaran como Puntos Críticos “Considerables”, aquellos que presenten valores mínimos o máximos respecto al no cumplimiento de un parámetro y puntos que presenten la mayor inconformidad respecto a cantidad de parámetros objeto de estudio, la denominación de *“Puntos Críticos Considerables”* no significa que otros no incluidos en este grupo no lo sean (considerables o importantes), esta es una simple denominación por razones ya expuestas anteriormente.

Se debe aclarar además, que los puntos catalogados como críticos se identifican con base al análisis comparativo efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras – Año 1998, para Velocidad de Diseño de 50 Km/h, debido a que bajo estas condiciones el usuario circulara por la vía y además fue efectuado el diseño.

A continuación, se expone el registro fotográfico para aquellos Puntos Críticos “Considerables”, a los cuales se asocia el o los parámetros por los cuales se incluyen en este grupo:

Imagen 1. PI No. 12 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 2. PI No. 12 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 3. PI No. 15 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 4. PI No. 15 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 5. PI No. 16 T6_1 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 6. PI No. 16 T6_1 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 7. PI No. 3 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 8. PI No. 3 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 9. PI No. 5 T6_2 calzada izquierda entrada, no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 10. PI No. 5 T6_2 calzada izquierda salida, no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 11. PI No. 15 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 12. PI No. 15 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 13. PI No. 19 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 14. PI No. 19 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 15. PI No. 22 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 16. PI No. 22 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho, longitud de espiral, longitud de transición, rampa de peralte y ancho de berma

Imagen 17. PI No. 25 T6_2 calzada izquierda entrada no cumple: radio mínimo, sobreancho y ancho de berma

Imagen 18. PI No. 25 T6_2 calzada izquierda salida no cumple: radio mínimo, sobreancho y ancho de berma

Para sección en planta se determino la existencia de una entretangencia critica para Calzada Izquierda del trayecto 6, a continuación se muestra dicho elemento.

Imagen 19. Entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda, no cumple longitud de entretangencia

Imagen 20. Curva 1 (Entrada) entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda

Imagen 21. Curva 2 (Salida) entretangencia No. 4 T6_1 calzada izquierda

Como puede observarse en las 3 últimas imágenes, la entretangencia crítica se encuentra entre dos curvas horizontales (espiralizadas) del mismo sentido, por lo tanto la distancia mínima es igual a 5 seg la velocidad de diseño de 50 Km/h, siendo esta de longitud menor al valor calculado teóricamente.

Para la Sección Vertical del Trayecto 6, Calzada Izquierda no se identificaron elementos geométricos críticos.

Por último, se presenta registro fotográfico de la Sección Transversal correspondiente al trayecto 6, como verificación de los parámetros principales, se verifico especialmente ancho de calzada, ancho de berma y ancho de carril.

Imagen 22. Medida en campo ancho de berma

Imagen 23. Medida en campo ancho de calzada

Imagen 24. Verificación de los elementos que constituyen la sección transversal

Mediante toma de medidas en campo se determino que la sección transversal en los elementos que la componen presenta las siguientes dimensiones.

Ancho de Berma: Berma Interior: 0.30 m – Berma Exterior: 1.20 m
Ancho de Calzada: 7.30 m
Ancho de Carril: 3.65 m

De lo anterior, se logra establecer que para la sección transversal, que el diseño esta correctamente efectuado y establecido en campo en cuanto a: Ancho de Calzada y Ancho de Carril, sin embargo no se cumple con el parámetro Ancho de Berma, constituyéndose en un aspecto critico del diseño del trayecto 6 en toda su extensión.

ANEXO C. INFORMACIÓN DE ANÁLISIS COMPLETO PARA DIFERENTES PARÁMETROS, MANUALES DE REFERENCIA, PLANOS EN MEDIO ELECTRÓNICO

Al presente trabajo se anexa toda la información y desarrollo del análisis comparativo para el trayecto 6 de cada uno de los elementos geométricos que lo conforman, igualmente se presentan planos, manuales de referencia, trabajo en medio electrónico y anteproyecto de grado.