

**EVALUACIÓN EN SEGURIDAD VIAL DE LA DOBLE CALZADA BOGOTÁ -
VILLAVICENCIO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PEAJE DE NARANJAL
HASTA LA INTERSECCIÓN TEQUENDAMA**

**WILMAR STEVEN ACOSTA USCATEGUI
DIEGO FERNANDO GUTIÉRREZ COHECHA
DUVAN SAID GUTIÉRREZ MORA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C
2016**

**EVALUACIÓN EN SEGURIDAD VÍAL DE LA DOBLE CALZADA BOGOTÁ -
VILLAVICENCIO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PEAJE DE NARANJAL
HASTA LA INTERSECCIÓN TEQUENDAMA**

**WILMAR STEVEN ACOSTA USCATEGUI
DIEGO FERNANDO GUTIÉRREZ COHECHA
DUVAN SAID GUTIÉRREZ MORA**

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

**Asesor Disciplinar
Ing. Nancy Cifuentes Ospina**

**Asesor Metodológico
Lic. Bibiana Gómez**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C
2016**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por su incondicional apoyo para que este proyecto se pudiera realizar, ya que nunca desistimos por más adversas que fueran las circunstancias.

Agradecemos a nuestros amigos quienes pusieron a disposición nuestra las herramientas necesarias para que el desarrollo de este proyecto se llevara a cabo.

Agradecemos a la Ing. Nancy Cifuentes por su asesoría y orientación quien fue el soporte necesario para dirigir esta investigación por el camino correcto.

A la profesora Bibiana Gómez quien bajo sus conocimientos metodológicos nos orientó en cada una de las fases del proyecto.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. ANTECEDENTES.....	18
5. MARCO TEORICO.....	23
5.1. MARCO CONCEPTUAL	23
5.1.1 GENERALIDADES.....	23
5.1.2 SEGURIDAD VIAL.....	23
5.1.2.1 ACCIDENTE DE TRÁNSITO.....	24
5.1.2.2 CLASIFICACIÓN DE ACCIDENTES.....	25
5.1.2.3 INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD	25
5.1.2.4 PUNTOS CRÍTICOS POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO.....	27
5.1.2.5 VARIABLES PARA LA DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.....	27
5.1.2.5.1 FACTORES GEOMÉTRICOS	27
5.1.2.5.2 FACTORES ASOCIADOS A LA INFRAESTRUCTURA	28
5.1.3 Tránsito y transporte.....	28
5.1.3.1 Tipos de vehículos	28
5.1.3.2 Volumen de tránsito	29
5.1.4 Señalización y demarcación en vías	30
5.1.4.1 Señales verticales	31
5.1.4.2 Señales Horizontales.....	32
5.1.4.2.1 Marcas longitudinales.....	32
5.1.4.2.2 Marcas transversales y de bordillos y sardineles	33
5.1.4.2.3 Marcas de objetos	33
5.1.5 Diseño Geométrico.....	33
5.1.5.1 Clasificación de las carreteras.....	33
5.1.5.2 Velocidad de diseño	35
5.1.5.2.1 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR)	36
5.1.5.3 Vehículo de diseño.....	36
5.1.5.3.1 Tipos de vehículos Distancia de visibilidad de parada (Dp)	37
5.1.5.5 Peraltes (e)	40
5.1.5.6 Radio de curvatura mínimo (RCmín)	41

5.1.5.6.1 Empalme circular simple	42
5.1.5.6.2 Empalme espiral - círculo – espiral.....	43
5.1.5.6.3 Elementos del empalme espiral – círculo – espiral asimétrico	44
5.1.5.6.3 Empalme espiral – espiral	45
5.1.5.7 Sección transversal de la carretera	46
5.1.5.8 Ancho de zona o derecho de vía.....	47
5.1.5.9 Calzada	47
5.1.5.9.1 Ancho de calzada.....	47
5.1.5.10 Bermas.....	48
5.1.5.11 Sobre ancho en las curvas.....	49
5.1.5.11.1 Determinación del sobreancho.....	49
5.2 MARCO LEGAL.....	50
5.2.1 Generalidades	50
5.3 MARCO GEOGRAFICO.....	52
5.3.1 Localización general del proyecto	52
5.3.2 Ubicación local del tramo en estudio.....	55
6 DISEÑO METODOLOGICO	56
6.1 ENFOQUE METODOLOGICO	56
6.2 TIPO DE INVESTIGACION.....	56
6.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS.....	57
6.3.1 Técnicas	57
6.3.1.1 Observación	57
6.3.1.2 Recolección y sistematización de la información	57
6.3.1.3 Análisis Documental.....	57
6.3.2 Instrumentos.....	57
6.3.2.1 Cartera de Nivelación.....	57
6.3.2.2 Lista de chequeo de anchos de vía.....	58
6.3.2.3 Formato de conteo de tráfico	58
6.3.2.4 Formato de velocidad puntual	58
6.4 FASES DEL DISEÑO METODOLÓGICO	58
7 ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD EN EL TRAMO DE ESTUDIO.....	59
7.1 GENERAL.....	59
7.1.1 Accidentalidad en la vía Bogotá – Villavicencio.....	59
7.1.1.1 Variación de la accidentalidad en la vía	59
7.1.1.2 Número de accidentes por mes y año en la vía	60
7.1.1.3 Número de accidentes según su tipo y gravedad en la vía	62
7.1.1.4 Número de accidentes según el tipo de vehículo en la vía	65
7.1.1.5 Sectores críticos de la vía	69
7.1.2 Accidentalidad en el tramo de estudio.....	71

7.1.2.1	Variación de la accidentalidad en el tramo de estudio	71
7.1.2.2	Número de accidentes por mes y año en el tramo de estudio	72
7.1.2.3	Número de accidentes según su tipo y gravedad en el tramo de estudio	73
7.1.2.4	Número de accidentes según el tipo de vehículo en el tramo de estudio.....	77
7.1.2.5	Sectores críticos en el tramo de estudio	81
7.1.2.6	Incidencia doble calzada	83
7.2	INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD	85
7.2.1	Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat)	85
7.2.2	Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav)	86
7.2.3	Índice de severidad (IS)	87
8	ANÁLISIS GEOMÉTRICO EN EL TRAMO DE ESTUDIO	88
8.1	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EN EL TRAMO BOGOTÁ – VILLAVICENCIO	88
8.1.1	Descomposición por Tramos Bogotá – Villavicencio	90
8.1.2	Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio.....	92
8.1.3	Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio	94
8.1.4	Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio	96
8.1.5	Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio.....	98
8.1.6	Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio.....	100
8.1.7	Pendiente longitudinal tramo Bogotá – Villavicencio	103
8.1.8	Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio	104
8.1.9	Peralte en curvas tramo Bogotá – Villavicencio.....	106
8.1.10	Tipo de curvas y radio tramo Bogotá - Villavicencio	107
8.1.11	Velocidades tramo Bogotá - Villavicencio.....	109
8.2	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EN EL TRAMO VILLAVICENCIO – BOGOTÁ	113
8.2.1	Descomposición por Tramos Villavicencio – Bogotá	114
8.2.2	Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá.....	115
8.2.3	Anchos de berma derecha tramo Villavicencio – Bogotá.....	116
8.2.4	Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio – Bogotá	118
8.2.5	Anchos de carril derecho tramo Villavicencio – Bogotá.....	119
8.2.6	Pendiente longitudinal tramo Villavicencio – Bogotá	121
8.2.7	Bombeo en rectas tramo Villavicencio – Bogotá	122
8.2.8	Peralte en curvas tramo Villavicencio – Bogotá.....	123
8.2.9	Tipo de curvas y radio tramo Villavicencio – Bogotá	124
8.2.10	Velocidades tramo Villavicencio – Bogotá.....	125
9	ANÁLISIS DE SEÑALIZACIÓN TRAMO DE ESTUDIO	130
9.1	SEÑALIZACIÓN TRAMO DE ESTUDIO BOGOTÁ – VILLAVICENCIO.....	130
9.1.1	Tramo del P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 380	130

9.1.2	Tramo del P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 380	131
9.1.3	Tramo del P.R. K52 + 880 al P.R. K53 + 580	132
9.1.4	Tramo del P.R. K53 + 580 al P.R. K55 + 620	133
9.1.5	Tramo del P.R. K55 + 620 al P.R. K56 + 930	134
9.2	SEÑALIZACIÓN TRAMO DE ESTUDIO VILLAVICENCIO – BOGOTÁ.....	135
9.2.1	Tramo del P.R. K56 + 200 al P.R. K55 + 370	135
9.2.2	Tramo del P.R. K55 + 370 al P.R. K53 + 820	136
9.2.3	Tramo del P.R. K53+ 820 al P.R. K52 + 240	136
9.2.4	Tramo del P.R. K52 + 240 al P.R. K51 + 250	137
9.2.5	Tramo del P.R. K51 + 250 al P.R. K50 + 200	137
10	CONCLUSIONES	139
11	RECOMENDACIONES.....	140
12	BIBLIOGRAFÍA	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores que contribuyen a la generación de accidentes.	27
Figura 2. Clasificación de las señales verticales de acuerdo a su forma y color.	35
Figura 3. Esquema de adelantamiento.....	43
Figura 4. Elementos del empalme circular simple.....	48
Figura 5. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico).....	49
Figura 6. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (asimétrico).....	49
Figura 7. Elementos del empalme espiral – espiral.....	51
Figura 8. Sección típica para una doble calzada.	51
Figura 9. Dimensiones para el cálculo del sobreechanco en los vehículos de tipo rígido..	54
Figura 10. Localización general vía Bogotá - Villavicencio.....	59
Figura 11. Ubicación del tramo en estudio.	60
Figura 12. Fases del diseño metodológico.....	63
Figura 13. Variación de accidentalidad en la vía.	65
Figura 14. Variación de accidentalidad por mes y año de la vía	66
Figura 15. Tipo de accidentes en la vía año 2013.....	68
Figura 16. Tipo de accidentes en la vía año 2014.....	69
Figura 17. Tipo de accidentes en la vía año 2015.....	69
Figura 18. Total de accidentes según su gravedad en la vía.	70
Figura 19. Número de accidentes según tipo de vehículo en la vía.	71
Figura 20. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2013.	72
Figura 21. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2014.	73
Figura 22. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2015.	73
Figura 23. Número de accidentes, muertos y heridos del año 2013 al 2015 en la vía. ..	75
Figura 24. Variación de accidentalidad en el tramo de estudio.	77
Figura 25. Variación de accidentalidad por mes y año en el tramo de estudio.	78
Figura 26. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2013.	80
Figura 27. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2014.	80
Figura 28. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2015.	81
Figura 29. Total de accidentes según su gravedad en el tramo de estudio.	82
Figura 30. Número de accidentes según tipo de vehículo en el tramo de estudio.	83
Figura 31. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2013.	84
Figura 32. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2014.	85
Figura 33. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2015.	85
Figura 34. Número de accidentes, muertos y heridos del año 2013 al 2015 en el tramo de estudio.....	87
Figura 35. Puesta en operación de la doble calzada.....	89

Figura 36. Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat).	90
Figura 37. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav).	91
Figura 38. Índice de severidad (IS).	92
Figura 39. Tramos en planta del P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 822.	93
Figura 40. Tramos en planta del P.R. K51 + 822 al P.R. K53 + 332.	94
Figura 41. Tramos en planta del P.R. K53 + 332 al P.R. K54 + 656.	94
Figura 42. Tramos en planta del P.R. K54 + 656 al P.R. K56 + 930.	95
Figura 43. Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio.	99
Figura 44. Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio.	101
Figura 45. Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio.	104
Figura 46. Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio.	105
Figura 47. Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio.	108
Figura 48. Pendiente longitudinal tramo Bogotá - Villavicencio.	110
Figura 49. Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio.	111
Figura 50. Peralte en curvas tramo Bogotá - Villavicencio.	113
Figura 51. Radios de curvas tramo Bogotá - Villavicencio.	114
Figura 52. Comportamiento de la velocidad del tramo 1.	115
Figura 53. Comportamiento de la velocidad del tramo 2.	116
Figura 54. Comportamiento de la velocidad del tramo 3.	117
Figura 55. Comportamiento de la velocidad del tramo 4.	117
Figura 56. Comportamiento de la velocidad del tramo 5.	118
Figura 57. Tramos en planta del P.R. K56 + 200 al P.R. K53 + 822.	119
Figura 58. Tramos en planta del P.R. K53 + 822 al P.R. K52+ 036.	120
Figura 59. Tramos en planta del P.R. K52 + 036 al P.R. K50 + 240.	120
Figura 60. Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá.	123
Figura 61. Anchos de berma derecha tramo Villavicencio - Bogotá.	124
Figura 62. Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio - Bogotá.	126
Figura 63. Anchos de carril derecho tramo Villavicencio - Bogotá.	127
Figura 64. Pendiente longitudinal tramo Villavicencio - Bogotá.	129
Figura 65. Bombeo en rectas tramo Villavicencio - Bogotá.	130
Figura 66. Peralte en curvas tramo Villavicencio - Bogotá.	131
Figura 67. Radios de curvas tramo Villavicencio - Bogotá.	132
Figura 68. Comportamiento de la velocidad del tramo 1.	133
Figura 69. Comportamiento de la velocidad del tramo 2.	133
Figura 70. Comportamiento de la velocidad del tramo 3.	134
Figura 71. Comportamiento de la velocidad del tramo 4.	135
Figura 72. Comportamiento de la velocidad del tramo 5.	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de vehículos.	32
Tabla 2. Clasificación de las carreteras.....	39
Tabla 3. Valores de velocidad de diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno	41
Tabla 4. Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.	42
Tabla 5. Dimensiones principales de los vehículos de diseño.	43
Tabla 6. Distancia de visibilidad de parada en tramos de nivel	44
Tabla 7. Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente	45
Tabla 8. Relación para determinar radios de curvaturas y peraltes, con la velocidad. ...	46
Tabla 9. Radios mínimos para peraltes máximos e máx = 8 % y fricción máxima	47
Tabla 10. Radios mínimos para peralte máximo emáx = 6 % y fricción máxima.....	47
Tabla 11. Radios de zona.	52
Tabla 12. Anchos de calzada (metros).....	53
Tabla 13. Anchos de bermas.....	54
Tabla 14. Normas, leyes o artículos para la construcción y mantenimiento de vías.	56
Tabla 15. Aspectos Generales.	58
Tabla 16. Sectorización corredor Bogotá – Villavicencio.....	58
Tabla 17. Accidentalidad por año en la vía.	64
Tabla 18. Número de accidentes por mes y año en la vía.	66
Tabla 19. Accidentes según tipo y gravedad en la vía.	67
Tabla 20. Accidentes según tipo de vehículo en la vía.....	71
Tabla 21. Sectores críticos de la vía.	74
Tabla 22. Accidentalidad por año en el tramo de estudio.....	76
Tabla 23. Número de accidentes por mes y año en el tramo de estudio.....	77
Tabla 24. Accidentes según tipo y gravedad en el tramo de estudio	78
Tabla 25. Accidentes según tipo de vehículo en el tramo de estudio.	83
Tabla 26. Sectores críticos en el tramo de estudio.....	86
Tabla 27. Sectores críticos en el tramo de estudio.....	88
Tabla 28. Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat).	90
Tabla 29. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav).	91
Tabla 30. Índice de severidad (IS).....	92
Tabla 31. Descomposición por tramos PR de inicio K50+240 al PR final K56+930.	96
Tabla 32. Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio.....	98
Tabla 33. Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio.	100
Tabla 34. Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio.	102
Tabla 35. Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio.....	104

Tabla 36. Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio.....	106
Tabla 37. Pendiente longitudinal tramo Bogotá - Villavicencio.....	109
Tabla 38. Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio.....	110
Tabla 39. Peralte en curvas tramo Bogotá - Villavicencio.....	112
Tabla 40. Tipo de curvas y radio tramo Bogotá - Villavicencio.....	113
Tabla 41. Velocidades tramo Bogotá - Villavicencio.....	115
Tabla 42. Descomposición por tramos PR de inicio K56+200 al PR final K50+240.	121
Tabla 43. Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá.....	122
Tabla 44. Anchos de berma derecha tramo Villavicencio - Bogotá.....	123
Tabla 45. Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio - Bogotá.....	125
Tabla 46. Anchos de carril derecho tramo Villavicencio - Bogotá.....	126
Tabla 47. Pendiente longitudinal tramo Villavicencio - Bogotá.....	128
Tabla 48. Bombeo en rectas tramo Villavicencio - Bogotá.....	129
Tabla 49. Peralte en curvas tramo Villavicencio - Bogotá.....	130
Tabla 50. Tipo de curvas y radio tramo Villavicencio - Bogotá.....	131
Tabla 51. Velocidades tramo Villavicencio - Bogotá.....	132
Tabla 52. Señalización P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 380 tramo Bogotá - Villavicencio.	137
Tabla 53. Señalización P.R. K51 + 380 al P.R. K52+ 880 tramo Bogotá - Villavicencio.	138
Tabla 54. Señalización P.R. K52 + 880 al P.R. K53+ 580 tramo Bogotá - Villavicencio.	139
Tabla 55. Señalización P.R. K53 + 580 al P.R. K55 + 620 tramo Bogotá - Villavicencio.	141
Tabla 56. Señalización P.R. K55 + 620 al P.R. K56 + 930 tramo Bogotá - Villavicencio.	142
Tabla 57. Señalización P.R. K56 + 200 al P.R. K55 + 370 tramo Villavicencio - Bogotá.	143
Tabla 58. Señalización P.R. K55 + 370 al P.R. K53 + 820 tramo Villavicencio - Bogotá.	143
Tabla 59. Señalización P.R. K53 + 820 al P.R. K52 + 240 tramo Villavicencio - Bogotá.	144
Tabla 60. Señalización P.R. K52 + 240 al P.R. K51 + 250 tramo Villavicencio - Bogotá.	144
Tabla 61. Señalización P.R. K51 + 250 al P.R. K50 + 200 tramo Villavicencio - Bogotá.	145

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. IPAT.....	25
Ecuación 2. IPAV.....	25
Ecuación 3. IS.....	25
Ecuación 4. %Cambio.....	25
Ecuación 5. Volumen de transito.....	28
Ecuación 6. TPDA.....	33
Ecuación 7. TPDM.....	33
Ecuación 8. TPDS.....	33
Ecuación 9. Distancia de velocidad de parada.....	37
Ecuación 10. Corrección distancia de velocidad de parada.....	38
Ecuación 11. Peraltes.....	39
Ecuación 12. Radio de curvatura mínimo.....	40
Ecuación 13. Longitud de cuerda.....	42
Ecuación 14. Tangente.....	42
Ecuación 15. Entretangencia.....	42
Ecuación 16. Angulo de deflexión en el PI.....	44
Ecuación 17. Deflexión de tramo circular.....	44
Ecuación 18. Longitud del empalme circular.....	44
Ecuación 19. Empalme espiral espiral simétrico.....	44
Ecuación 20. Empalme espiral espiral asimétrico.....	44
Ecuación 21. Sobrancho.....	49

INTRODUCCIÓN

Los corredores viales son un medio de comunicación necesario para el desarrollo de un país ya que por ellos se da vía al libre al intercambio de productos entre sociedades. Colombia en las últimas décadas ha venido desarrollando proyectos de infraestructura vial a lo largo del país. La construcción de las nuevas carreteras trajo una problemática social y económica para la nación en materia de seguridad vial a la cual debía dársele solución por lo cual en 1993 se creó el Fondo de Prevención Vial que estuvo a cargo de “enseñar a conductores, motociclistas, ciclistas y peatones las primeras nociones de seguridad y cultura vial.”¹

Posteriormente para el desarrollo de proyectos de cuarta generación pioneros en contratación y procesos de diseño y construcción en el país se instaura la ley 1702 el 27 de diciembre del 2013 la cual ocasiona la liquidación del Fondo de Prevención Vial y da origen a la Agencia Nacional de Seguridad Vial entidad que articula todas las entidades que desarrollan acciones de seguridad vial y cumple funciones de planificación regulación, control y el desarrollo de campañas de prevención.

Igualmente en el año 2014 la resolución 2273 crea el plan nacional de seguridad vial que estará vigente desde el año 2011 hasta el año 2021, la Agencia Nacional de Infraestructura decide que para las vías de cuarta generación es necesario manejar el tema de seguridad vial desde la etapa de construcción y durante toda la vida del contrato de concesión, estas acciones serán puestas en funcionamiento mediante el programa de Auditorías de Seguridad vial que proponen incorporar los estándares y la normatividad actual sobre seguridad vial en los proyectos de infraestructura vial.

Por otro lado, el Consejo Nacional de Política Económica y Social mediante el CONPES 3612 del 2009 titulado Programa estratégico de autopistas fase 1, describe como alcance del proyecto doble calzada Bogotá – Villavicencio “el aumento de la capacidad del corredor actualmente concesionado, mediante la construcción, operación y mantenimiento de 45,5 km de nueva calzada y el mejoramiento de algunos tramos de la

¹ Ministerio de Transporte. [Citado el 8 de Septiembre de 2016]. <Disponible en internet: <https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/Ministerio/Historia>>

vía existente.”² De igual forma, la ejecución de obras faltantes dentro del corredor actual y obras necesarias como resultado del sismo del 24 de mayo de 2008.

En la presente investigación se evaluó la influencia de la puesta en operación de la doble calzada Bogotá - Villavicencio en la tasa de accidentalidad actual en el tramo comprendido entre el Peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama analizando históricos de accidentalidad en el sector, confrontando el diseño geométrico de la vía con el manual de diseño del INVIAS y verificando velocidades de operación.

² Concejo Nacional de Política Económica y Social, Republica de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. [Citado el 8 de Septiembre de 2016]. <Disponible en internet: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Económicos/3612.pdf>>

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La infraestructura vial es el conjunto de componentes físicos que interrelacionados entre sí de manera coherente y bajo cumplimiento de ciertas especificaciones técnicas de diseño y construcción, ofrecen condiciones cómodas y seguras para la circulación de los usuarios que hacen uso de ella.³

Una de las situaciones que preocupan a los organismos encargados de monitorear la accidentalidad vial en Colombia como lo fue el desaparecido Fondo de Prevención Vial y en su remplazo la Agencia de Seguridad Vial es que estos sucesos disminuyan de forma considerable y que de no ser atendidos de manera inmediata sigan poniendo en riesgo la seguridad de los conductores y peatones que transitan por allí.

La accidentalidad en las carreteras está asociada a diversas causas propias y ajenas al hombre; desde maniobras peligrosas por parte de los conductores y/o peatones (factor humano), fallas tecno-mecánicas de los automotores (factor vehículo), inadecuados procesos de ingeniería en la concepción, planificación, ejecución y puesta en funcionamiento de la infraestructura (factor vial), hasta condiciones meteorológicas, topográficas, geográficas, desfavorables (factores externos), entre otras.

Es de suma importancia tanto para la economía del país como para la conservación de la vida de las personas que se identifiquen los factores que alteran el normal funcionamiento de los corredores viales y más aún cuando dicha infraestructura hace parte de un sistema de dobles calzadas construidas y entregadas bajo las más exigentes y rigurosas normas de diseño, construcción y operación.

De acuerdo a lo anterior, la presente investigación pretende realizar la evaluación de los factores que influyen en la accidentabilidad desde el diseño y trazado en la Ruta 40 Bogotá – Villavicencio en los dos sentidos a partir de la puesta en marcha y considerando las nuevas políticas que deben tener los proyectos concesionados de vías 4G en seguridad vial.

Por lo anterior la pregunta eje de la investigación fue:

³ Alcaldía de Barranquilla. Secretaria de Movilidad. [citado el 9 de Marzo de 2016]. <Disponible en internet: http://www.barranquilla.gov.co/movilidad/index.php?option=com_content&view=article&id=5507>

¿Cuál ha sido la influencia de la puesta en operación de la doble calzada Bogotá - Villavicencio en la tasa de accidentalidad actual en el tramo comprendido entre el Peaje Naranjal hasta la intersección Tequendama?

2. JUSTIFICACIÓN

Los accidentes de tránsito representan una carga significativa para la economía del país. Un estudio realizado por la Universidad de los Andes para la ya desaparecida CFPV (Corporación Fondo de Prevención Vial) permitió cuantificar que cada año el país pierde lo equivalente al 0,9% del Producto Interno Bruto (PIB) por accidentes de tránsito; para el año 2014 el PIB de Colombia fue de 384.901 millones de dólares lo que quiere decir que 3464,11 millones de dólares se destinaron para atender los siniestros de carreteras.

El proyecto de la doble calzada Bogotá – Villavicencio la cual fue concebida a partir del CONPES 3612 del 2009 se eligió para aumentar la capacidad del corredor mediante la construcción, operación y mantenimiento de nueva calzada y así mismo ofrecer menores tiempos de viaje de vehículos particulares y de carga y reducir la accidentalidad mediante la implementación de planes de seguridad vial, los cuales en la economía representan mayores ingresos para el país. Un cierre de este importante corredor vial genera cuantiosas pérdidas monetarias para el patrimonio de la nación debido a que por allí se transporta gran número de alimentos de la canasta familiar, turismo, minería y derivados de la explotación de hidrocarburos.

El costo del cierre por hora de esta vía se muestra de acuerdo a la información suministrada por el periódico El Tiempo⁴ donde el pasado 16 de septiembre del 2015 se presentó un deslizamiento de tierra el cual ocasionó el cierre de la vía por 24 horas en el kilómetro 20, es así que las pérdidas económicas para el país que origino este cierre fue de \$1.333.000.000 pesos en transporte de carga pesada y de \$72'775.000 pesos en movilización de pasajeros. Las cifras indican que el cierre de esta vía por hora genera unas pérdidas económicas aproximadas de \$58.587.847,22 pesos y demuestra que cuando se presenta un cierre por factores externos como deslizamientos o accidentes que detienen el tráfico en ambos sentidos la economía de estas dos importantes capitales del país se ven afectadas de manera considerable.

Según el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses para el año 2014 el número de muertes en el país fue hasta el momento el mayor de la última década y es solo comparable con cifras que no se presentaban desde el año 2001 (6346 casos). Así, para el 2014 las muertes de accidentes de transporte se incrementaron en 2,94%

⁴ El Tiempo. Bogotá. 16 de septiembre. 2015. [Citado el 8 de Septiembre de 2016]. <Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14085157>>

con respecto a 2013 y en 18,16% en relación con los casos presentados en el año 2005.⁵ Adicionalmente los departamentos más afectados por muertes en accidentes de transporte al igual que en años anteriores son, en orden de afectación, Antioquia, Valle del Cauca, Bogotá D.C., Cundinamarca, Meta y Santander. En ellos ocurrieron 3189 muertes, que corresponden al 49,81% de todas, con una tasa promedio de 14,7 muertes por cada 100000 habitantes.⁶

De acuerdo a lo anterior, el presente proyecto de investigación pretende hacer una evaluación en seguridad vial de la doble calzada Bogotá - Villavicencio en el tramo comprendido entre el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama con el fin de establecer la influencia de la puesta en operación de la autopista en la tasa de accidentalidad actual considerando los diseños geométricos implantados y llevando a cabo una inspección de seguridad vial en el tramo en estudio.

⁵ Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Información estadística sobre violencia y accidentalidad en 2014. Bogotá: Junio de 2015. P. 353. [Citado el 17 de febrero de 2016]. <<http://www.medicinalegal.gov.co>>

⁶ *Ibíd.*, P. 376.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- 3.1.1. Evaluar la influencia de la puesta en funcionamiento de la doble calzada Bogotá – Villavicencio en la tasa de accidentalidad actual en el tramo comprendido entre el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Identificar los factores de accidentalidad en el tramo de estudio antes y después de entrar en operación la doble calzada.
- 3.2.2. Determinar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad de la vía en la etapa de diseño y operación.
- 3.2.3. Comparar la accidentalidad y las características geométricas de la doble calzada de acuerdo a información tomada en campo.

4. ANTECEDENTES

Para el presente proyecto se realizó un análisis exhaustivo de la información encontrando a nivel internacional las siguientes investigaciones:

El trabajo del año 2015 titulado “Estudio de la mejora de la seguridad vial en la carretera CV-415 entre los municipios de Picassent y Monserrat (P.K. 1+200 al P.K. 9+500)”⁷ en España realizado por Hector Jonel Garcia Acevedo tuvo por objetivo conocer el estado actual de la seguridad vial en el tramo en estudio correspondiente a la carretera CV-415 en el cual se realizó un análisis exploratorio de las características de los accesos, intersecciones, consistencia del diseño, las márgenes de la carretera y su influencia en la peligrosidad de los posibles accidentes, la funcionalidad de la señalización. Etc. Las conclusiones a las que se llegaron es que la carretera CV-415 presenta problemas de seguridad vial en lo que respecta a su sección transversal, trazado en planta, intersecciones, accesos y márgenes. De los problemas encontrados los que presentan mayores inconvenientes sobre la seguridad vial de la carretera son: la no existencia de arcones en la mayor parte del tramo de estudio, alineaciones rectas de grandes longitudes, tramos de curvas con radios pequeños, accesos e intersecciones con ángulos de incorporación menores de 70 grados, que dificultan la visibilidad de giros a la izquierda. Para este caso se destacan dos tipos de problemas: los que ocurren en puntos específicos y los que ocurren a lo largo de un tramo. En la investigación se propone una alternativa que implica prolongar la sección transversal existente en los primeros 1.300 metros hasta el final del tramo de estudio, mediante la construcción de arcones bici de 1.50 metros de ancho con la señalización exigida. Así mismo, la construcción de una glorieta en medio de la alineación recta para reducir la velocidad de los vehículos y por ultimo reducir de 6 a 4 curvas el tramo existente y utilizando radios que permitan circular por todo el tramo a una velocidad constante de 80 Km/h. Este trabajo es de aporte para la presente investigación ya que identifica geométricamente los puntos más vulnerables de la vía y propone varias alternativas de solución como la reducción de curvas en todo el trayecto y la ampliación de radios de curvatura.

⁷ GARCIA, Héctor. Estudio de la mejora de la seguridad vial en la carretera CV-415 entre los municipios de Picassent y Monserrat (P.K. 1+200 al P.K. 9+500). Tesis de maestría en transporte, territorio y urbanismo. Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. 128 P.

El trabajo del año 2014 titulado “Análisis de seguridad vial de las zonas pobladas de cuatro tramos de la carretera IIRSA Norte”⁸ en Perú realizado por Melissa Guzman-Valdiviezo tuvo por objetivo principal brindar un análisis de la base de datos de los accidentes de tránsito registrados en cuatro sectores de la carretera IIRSA Norte, dos de la costa y dos de la selva. En el estudio se concluyó que existe una alta tasa de accidentes del tipo atropellos, es decir, que existe una participación directa del peatón en la mayoría de los accidentes de tránsito, lo que puede indicar que éstos suceden en mayor cantidad y fatalidad en zonas urbanas, ciudades, calles, etc., donde existe una interacción directa entre los vehículos y el hombre. Así mismo, en carreteras los tipos de accidentes de tránsito que ocurren con mayor frecuencia son en primer lugar los despistes seguidos de las volcaduras causados por el estado de cansancio del conductor, en carreteras no se existe una interacción constante con los peatones, sólo habiéndola en zonas de centros poblados. Adicional, la presencia de vehículos menores (motos, moto-taxis y moto-furgonetas) en la carretera aumenta drásticamente la gravedad y severidad de los accidentes de tránsito, es decir, aumenta la cantidad de accidentes fatales, esto se agrava más aún con el hecho que las personas en esta parte del Perú no usa ninguna protección como casco. Por último, en cuanto a la zona geométrica donde ocurren los accidentes se tiene que el 50% de los accidentes suceden en rectas y el otro 50% en curvas, lo que indica que la zona geométrica no es un factor concluyente que influya directamente en la ocurrencia de los accidentes de tránsito, sino pueden ser otros factores como el humano. Esta investigación aporta al presente proyecto comparando los diferentes factores en la incidencia de accidentes y resaltando todos aquellos errores humanos los cuales fueron los de mayor trascendencia para la ocurrencia de siniestros.

La investigación de la seguridad vial en España en la primera década del siglo XXI⁹ realizado en el año del 2009 por la agencia de salud pública de Barcelona indica que el principal objetivo en la Unión Europea para el año 2010 fue reducir a la mitad el número de víctimas de accidentes de tráfico, con una visión de responsabilidad compartida por parte de todos los sectores de la sociedad, para ello se destinó financiación a la investigación para la mejora de la seguridad de los vehículos e infraestructuras y al desarrollo de sistemas de información, como el Observatorio Europeo de Seguridad Vial, a través de proyectos integrados como Safetynet. Así mismo, en el año 2003 el

⁸ GUZMÁN, Melissa. Análisis de seguridad vial de las zonas pobladas de cuatro tramos de la carretera IIRSA Norte. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú. 2015. 126 P.

⁹ PEREZ, Katherine. Road safety in Spain during the first decade of the 21st century. September–October 2009, Pages 359–361.

gobierno español estableció la seguridad vial como una prioridad política. La Dirección General de Tráfico (DGT) emprendió diferentes acciones con el fin de conseguir el objetivo de reducir en un 40% las víctimas mortales en accidentes de tráfico en el año 2008. En este contexto, tras un primer plan de choque con medidas especiales de seguridad vial para los años 2004–2005, se creó el Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005–2008 que estableció ocho áreas prioritarias de actuación; 1. Educación y formación vial; 2. Concienciación acerca de la seguridad vial; 3. Vigilancia y control; 4. Seguridad de los vehículos; 5. Infraestructuras y gestión del tráfico; 6. Seguridad vial laboral en el transporte; 7. Atención a las víctimas y sus familias; 8. Investigación y análisis de la seguridad vial. Esta investigación es de gran aporte ya que da un enfoque de los planes que se deben generar y poner en marcha por parte de las diferentes instituciones para reducir los accidentes en carreteras destinando recursos económicos para investigación y sistemas de información.

En Colombia el estudio en seguridad vial ha tenido una gran importancia como el trabajo “Evaluar la influencia de la construcción doble calzada Bogotá - Girardot en la accidentalidad actual en el tramo comprendido entre Silvania y Fusagasugá”¹⁰ realizado por Ortiz, Rodríguez y Villamil en el año 2016 y cuyo objetivo principal era evaluar si la construcción de la doble calzada Bogotá- Girardot ha influenciado en la tasa de accidentalidad actual, tomando como estudio el tramo comprendido entre Silvania y Fusagasugá. Se determinó que la ruta Bogotá-Girardot en el tramo de estudio y en ambos sentidos no está cumpliendo con los parámetros estipulados en los planos de diseño geométrico otorgados por la concesión Autopista Bogotá- Girardot, así como tampoco con la normatividad del INVIAS, en el cual se presentan puntos críticos que pueden ser ocasionados por elementos que no cumplen como lo son: ancho de bermas, ancho de separador, ancho de calzada y de carriles, de igual manera radios de curvatura pequeños y peraltes que afectan la estabilidad de los vehículos. Igualmente la inconsistencia en la falta de señalización, es uno de los factores con mayor incidencia en la seguridad de los usuarios de la vía. En el tramo de estudio se evidencia la falta de señalización vertical y demarcación horizontal, los cuales son causas directas de confusión a los usuarios generando accidentes en la vía. Este trabajo es de suma importancia para la presente investigación porque se le hace un análisis a los elementos geométricos de la vía y entrega como resultados que las obras no fueron bien ejecutadas, demostrando que las vías que fueron construidas en los últimos años en Colombia no cuentan con todos los elementos de seguridad para su correcto

¹⁰ ORTIZ, Mónica. RODRIGUEZ, Yecid. VILLAMIL Angelo. Evaluar la influencia de la construcción doble calzada Bogotá - Girardot en la accidentalidad actual en el tramo comprendido entre Silvania y Fusagasugá. Proyecto para optar al grado de ingeniería civil. Bogotá D.C. Universidad La Gran Colombia. 2016. 142 P.

funcionamiento y generan que los usuarios corran riesgos al circular por estos corredores viales.

Por otro lado el trabajo titulado “Influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas. Un estudio de caso”.¹¹ Realizado en el año 2014 por el ingeniero Yefer Asprilla, tuvo por objeto evaluar los diferentes elementos de la infraestructura que influyen en la accidentalidad y seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas. Para lograr el desarrollo del estudio se analizaron las estadísticas de accidentalidad del tramo Guaduas-Villeta, se revisaron las causas asociadas con la infraestructura e identificaron los elementos de la carretera que influyen en la generación de los accidentes y se aplicó una metodología simplificada, tomando como referencia las características utilizadas por el International Road Assessment Programme (IRAP), que permitió establecer, a través de una valoración con estrellas por inspección visual, el nivel de seguridad vial brindado por la carretera. El trabajo concluyó que el tramo de estudio cuenta con una calificación de una y dos estrellas en cuanto a nivel de seguridad vial, el cual requiere con urgencia que las entidades responsables de la infraestructura vial del país (Invías, Agencia Nacional de Infraestructura [ANI], Ministerio de Transporte o Concesionarios) apropien los recursos requeridos para que se realicen las intervenciones necesarias al tramo de estudio y de esta manera, contribuir a mejorar la seguridad vial que le debe brindar la carretera a sus diferentes usuarios, y así mismo buscar reducir los índices de accidentalidad que registra este importante eje vial del país.

La ingeniera Nancy Cifuentes en su trabajo del año 2014 titulado “Estudio de seguridad vial para determinar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad carretera Bogotá – Villavicencio a partir de la salida del túnel de Boquerón a puente Quetame”¹² y cuyo principal objetivo era evaluar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad vial a partir de un modelo de auditoria en el tramo existente y en etapa de diseño propuesto actualmente, determina de acuerdo a estadísticas de tránsito que el sector donde más accidentes se presentan es entre el K18+00 y el K20+00 en donde para el año 2012 se presentó una máxima ocurrencia de 26 siniestros. Así mismo, en el mismo sector entre el año 2010 y el año 2012 se presentaron 2 muertos, 8 heridos

¹¹ ASPRILLA, Yefer. REY, Eladio. MATURANA, Zamir. Influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas. Un estudio de caso. Bogotá D.C. Universidad Distrital. 2014.

¹² CIFUENTES OSPINA, Nancy. Estudio de seguridad vial para determinar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad carretera Bogotá - Villavicencio a partir de la salida del túnel del Boquerón a puente Quetame, Proyecto para optar al grado de magister en ingeniería civil. Bogotá D.C. Escuela colombiana de Ingeniería. 2014. 129 P.

graves y 13 heridos leves. En cuanto al diseño geométrico se destaca que en el K17+00 se inicia una doble calzada en los dos sentidos hasta el K19+200 sin separador, además este mismo sitio no tiene berma y la curva de análisis cuenta con un radio corto con poca visibilidad y pendiente alta. Para finalizar algunas de las recomendaciones que se presentan es la necesidad de que en los puntos críticos se mejore la señalización, realizar controles periódicos de velocidad, realizar el mapa de velocidades para identificar la consistencia de las señales SR-30.

Así mismo, El trabajo del año 2004 realizado por Jhon Herrera “Estudio de causas y efectos de la accidentalidad en las vías del departamento de Boyacá”¹³ tuvo como objetivo determinar y analizar los índices de accidentalidad en Boyacá. El trabajo concluye que el conductor es el causante del mayor número de accidentes, seguido por el estado de las vías. Así mismo dentro de las recomendaciones generales plantea que se haga un mantenimiento y reparación de las vías existentes, que se tengan controles de velocidad y además programas educativos dirigidos a conductores y peatones, orientados a concientizar a las personas del problema.

¹³ HERRERA, Jhon Alexander y PULIDO, Félix Leonardo. Estudio de causas y efectos de la accidentalidad en las vías del departamento de Boyacá. Proyecto de grado – Metodología investigación. “Coordinada Fondo de Prevención Vial, Policía de Carreteras, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia”. 2004. 19 P.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. Generalidades

De acuerdo al ingeniero James Cárdenas, “una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos en manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.”¹⁴

De este modo se hizo necesario contar con las estadísticas de accidentalidad y realizar un análisis exhaustivo del diseño geométrico para identificar los puntos que presentan un elevado número de accidentes (puntos críticos) para poder implementar mecanismos que optimicen la seguridad.

En el presente capítulo se mostraran las características del diseño geométrico de una vía, los elementos que conforman la seguridad vial y se indicaran conceptos acerca de tránsito y señalización que permitan hacer una análisis a profundidad del funcionamiento de la doble calzada Bogotá-Villavicencio en el tramo comprendido entre el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama puesta en funcionamiento desde el mes de junio del año 2015.

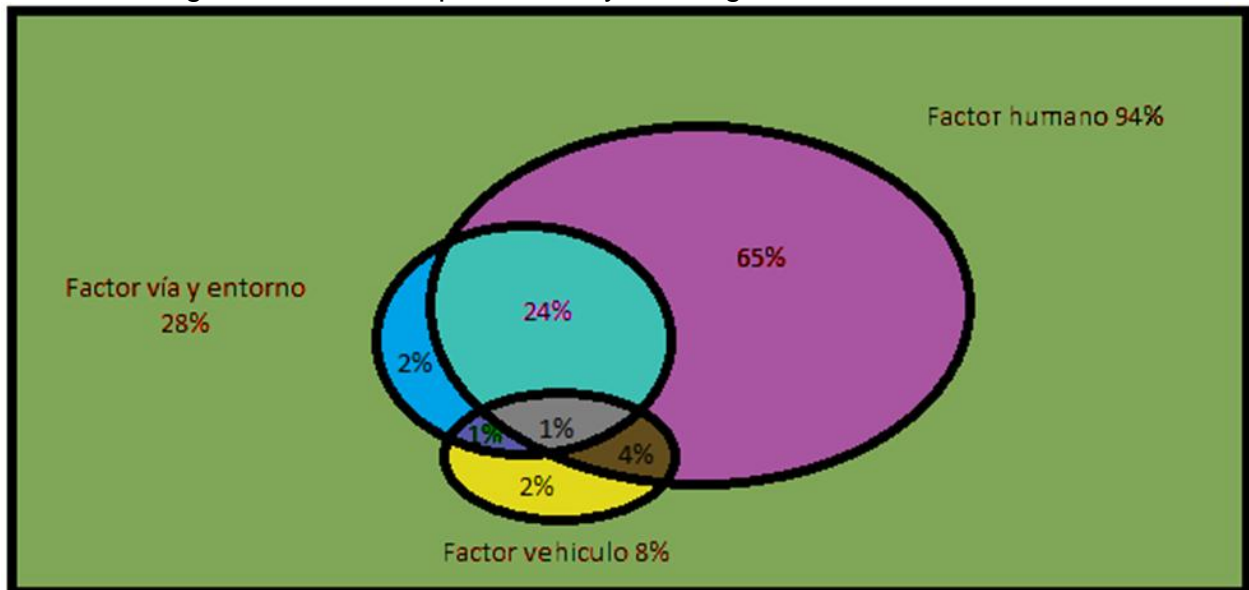
5.1.2. Seguridad vial

La seguridad vial es el conjunto de acciones y mecanismos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación del tránsito mediante la utilización de conocimientos (leyes, reglamento y disposiciones) y normas de conducta, así mismo, se identifica que los factores causantes de accidentes de tránsito son el factor humano, el vehículo, la vía y el entorno. La siguiente figura nos muestra los porcentajes de los factores ya nombrados.

¹⁴ CARDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de carreteras. Segunda edición. Bogotá. 2002. P.1.

- Factor Humano (implicado en alrededor del 94% de los accidente)
- Factor vehículo (implicado en alrededor del 8% de los accidentes)
- Factor vía y el entorno (implicado en el 28% de los accidentes).¹⁵

Figura 1. Factores que contribuyen a la generación de accidentes.



Fuente: Main Roads Western Australia, Investigación de seguridad vial.

En la figura anterior se observa que el mayor porcentaje de accidentes son generados por el factor humano, seguidos por las condiciones de la vía y su entorno que también influyen en la accidentalidad pero en menor medida. Por lo tanto se establece las condiciones de seguridad en un proyecto de seguridad vial, con el fin de identificar y corregir las posibles deficiencias.

5.1.2.1. Accidente de tránsito

Según el artículo 30 del Decreto 1283 de 1996 en el literal (a) consagra la definición de accidente de tránsito en los siguientes términos: "Se entiende por accidente de tránsito el suceso ocasionado o en el que haya intervenido un vehículo automotor, en una vía pública o privada con acceso al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y/o animales y que como consecuencia de su circulación o tránsito, o que por violación de

¹⁵ Ingeniería de Transportes. Factores de los accidentes de tránsito. [Citado el 21 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://ingenierodetransporte.blogspot.com/2009/09/factores-en-losaccidentes-de-transito.html>>.

un precepto legal o reglamentario de tránsito causa daño en la integridad física de las personas.”¹⁶

5.1.2.2. Clasificación de accidentes

Los accidentes de tránsito se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios, su importancia, modo e implicación de los participantes; de los cuales tenemos que los accidentes de tránsito los podemos clasificar, según su gravedad y según su lugar de impacto¹⁷:

Según su gravedad:

- Solo daños
- Daños a terceros
- Accidentes con lesionados
- Accidentes con muertos

Según su lugar de impacto:

- Frontales
- Laterales
- Por alcance
- Por roce
- Atropello
- Volcamiento

5.1.2.3. Indicadores de accidentalidad

Los indicadores de accidentalidad nos permiten ver la cantidad de accidentes que hay en una vía determinada, de igual manera la cantidad de vehículos que por ella transita.

- *IPat*: (Índice de peligrosidad de accidentes totales). Relaciona el número total de accidentes registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

¹⁶ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. [Citado el 21 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=12798>>.

¹⁷ Hechos de tránsito. [Citado el 4 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://hechosdetransito.com/clasificacion-de-los-accidentes-de-transito>>.

$$IPat = (10^6 \cdot N) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad (1)$$

- *IPav*: (Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas). Relaciona el número de accidentes con víctimas registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

$$IPav = (10^6 \cdot Nv) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad (2)$$

- *IS* (Índice de severidad). Relaciona el número equivalente de accidentes de tránsito registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

$$IS = 10^6((9 \cdot AF) + (1,5 \cdot AS) + ASimp) \quad (3)$$

Dónde:¹⁸

N: Número de accidentes

Nv: Número de accidentes con víctimas = *AF* + *AS*

AF: Accidentes fatales

AS: Accidentes serios

ASimp: Accidentes simples

TPD: Tráfico promedio diario (veh/día)

L: Longitud del tramo (Km).

El porcentaje de cambio en la accidentalidad de un sitio se determina como:

$$\% \text{ De cambio} = 100 \cdot (Indice anterior - Indice Posterior) / Indice anterior \quad (4)$$

¹⁸ Agencia Nacional de Seguridad Vial. Observatorio de Seguridad Vial. Relevamiento de indicadores estadísticos en materia de Seguridad Vial en Argentina, consignando autor y entes que utilizan cada uno. [Citado el 1 de octubre de 2016]. <Disponible en <http://observatoriovial.seguridadvial.gov.ar/documentos/ops/relevamiento-deindicadores-estadisticos-en-materia-de-seguridad-vial-en-argentina.pdf>>.

- *Índices de morbilidad*: Relación entre el número de muertes o accidentes en los cuales uno o varios de los actores resultan muertos y otra variable como por ejemplo, población, vehículos registrados.

5.1.2.4. Puntos críticos por accidentes de tránsito

El punto crítico de accidentabilidad en las vías, está ligada a las deficiencias en el diseño, construcción, señalización y operación de la vía; donde sus índices de peligrosidad son elevados con respecto a otros puntos de la carretera. Por su diseño y construcción, las vías se deben de acomodar a las condiciones de los usuarios (conductores), indicando a los usuarios de los peligros ocasionales que se tengan en la vía, perdonando los errores que los usuarios cometan y dando la oportunidad de corregirlos.

5.1.2.5. Variables para la determinación de puntos críticos

Un accidente de tránsito es un evento impredecible, ocasionado por factores propios o ajenos, que puede ocurrir de manera premeditada y sin aviso en distintos escenarios, poniendo en riesgo la integridad del conductor y el de su entorno. Además, puede dejar como resultado uno o varios involucrados con lesión o sin lesión, daños materiales, daños psicosociales en muchos casos evitables.¹⁹

Dentro de estas condiciones asociadas a accidentes y que dan nombre a los puntos negros o puntos críticos, se pueden nombrar las variables más relevantes en estas y que tienen mucho que ver en la determinación de los puntos negros o críticos de accidentalidad, como son:

5.1.2.5.1. Factores geométricos

- El ancho del carril no es el adecuado
- Falta de bermas o bermas angostas
- Falta de visibilidad
- Peralte inadecuado
- Radios de curvatura
- Falta de reductores de velocidad

¹⁹ MARTINEZ, Ricardo y OLIVARES, Elber Ramiro. Metodología para la atención de puntos críticos para garantizar la seguridad vial en carreteras. Bogotá D.C. [Citado el 25 de septiembre 2016]. <Disponible en <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/9928/2/MartinezGonzalezRicardo2012.pdf>>.

5.1.2.5.2. Factores asociados a la infraestructura

Según a la CEPAL se define a la infraestructura como “el conjunto de estructuras de ingeniería e instalaciones, que por lo general son de larga vida útil y que son utilizadas con fines productivos, políticos, sociales y personales.”²⁰ Así mismo, la infraestructura vial es “el elemento principal para la movilización de todo el sistema de transporte terrestre.”²¹ Bajo estas premisas la infraestructura vial es todo un conjunto de elementos que organizados de una manera sistemática tienen por objeto la circulación de usuarios.

Mayores problemas en el estado de las vías:

- Falta de mantenimiento de las calzadas o de la carpeta asfáltica.
- Inexistencia de mantenimiento de separadores, bermas, iluminación y drenaje superficial.
- Presencia de obstáculos en la vía.

5.1.3. Tránsito y transporte

El tráfico es el factor que indica el servicio para el cual se ha de construir una vía y afecta directamente las características geométricas del diseño tales como el ancho, los alineamientos, las pendientes. No es más racional el diseñar una vía sin información sobre el tráfico que diseñar un puente sin el conocimiento de los pesos y del número de vehículos que ha de soportar. Las características del tráfico que deben estudiarse son: los volúmenes, la distribución direccional, la composición y la velocidad.²²

5.1.3.1. Tipos de vehículos

Clasificación de los vehículos según el ministerio de transporte, se clasifican según sus ejes como se observa en la tabla 1.

²⁰ SANCHEZ, Ricardo y WILMSMEIER, Gordon. Provisión de Infraestructura de transporte en América Latina: experiencia reciente y problemas observados. CEPAL, Santiago de Chile. 2005. P.10.

²¹ CIFUENTES, Op. Cit., P. 21.

²² AGUDELO, Jhon Jairo. Diseño geométrico de vías ajustado al manual colombiano. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Vías y Transporte. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas, 2012, .80 p.

Tabla 1. Clasificación de vehículos.

CATEGORIA	TIPO DE VEHÍCULO
I	Automóviles, camperos y camionetas
II	Buses, Busetas con eje trasero de doble llanta y camionetas de dos ejes
III	Camiones de tres ejes y cuatro ejes
IV	camiones de cinco ejes
V	Camiones de seis ejes

Fuente: Ministerio del Transporte

5.1.3.2. Volumen de tránsito

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal, dados de un carril o una calzada durante un periodo de tiempo determinado. Una de las aplicaciones de los datos de volúmenes de tránsito son utilizados para determinar la seguridad de la carretera con la que se puede determinar el cálculo de accidentes y mortalidad, además para la evaluación de mejoras por seguridad.²³

$$Q = \frac{N}{T} \quad (5)$$

Dónde:

Q: Vehículos que pasan por unidad de tiempo

N: Número total de vehículos que pasan

T: Periodo determinado

5.1.3.3. Tránsito promedio diario (TPD)

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasa durante un periodo dado (en días completos), transformado en el equivalente al promedio diario. De acuerdo al número de días de este periodo, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario (en vehículos por día)²⁴:

²³ CIFUENTES, Op. Cit., P. 59.

²⁴ MANUAL DE MODELACION 2006. Modelación de demanda para carreteras. [Citado el 9 de diciembre de 2016]. <Disponible en http://www.sct.gob.mx/normatecaNew/wp-content/uploads/2014/11/SCT_NIS_0420.pdf>.

5.1.3.3.1. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

Representa el valor promedio de los volúmenes de tránsito que circulan en 24 horas durante un año. Se obtiene de la siguiente manera:

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad (6)$$

Dónde: TA= Tránsito anual

5.1.3.3.2. Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

Representa el valor promedio del tránsito diario, obtenido con base en el tránsito de un mes. Se obtiene de la siguiente manera:

$$TPDM = \frac{TM}{30} \quad (7)$$

Dónde: TM= Tránsito mensual

5.1.3.3.3. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

Representa el valor promedio del tránsito diario, obtenido con base en el tránsito de una semana. Se obtiene de la siguiente manera:

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad (8)$$

Dónde: TS= Tránsito semanal

5.1.4. Señalización y demarcación en vías

Según el Manual de Señalización se establecen las especificaciones para el diseño, ubicación y aplicación de los dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas en una localización determinada, debe basarse en un estudio de ingeniería identificado como proyecto de señalización o de semaforización, según sea el caso, en donde tiene relevante importancia el juicio del ingeniero que lo elabora.

Esto es el esfuerzo “conjunto de personas e instituciones que busca proporcionar a las autoridades responsables de la señalización vial, la forma correcta de utilizar los

diferentes dispositivos para la regulación del tránsito, con el fin de prevenir accidentes y mejorar la movilidad por las vías públicas.”²⁵

Sus aplicaciones consisten esencialmente en conocer el uso, clasificación, funcionalidad, color, tamaño, materiales, mantenimiento, etc., de los dispositivos utilizados en el ámbito nacional para la regulación del tránsito. El proyecto de señalización debe guardar armonía, estética y comodidad con el diseño geométrico de las vías para ofrecer un recorrido fácil y agradable exento de sorpresas y desorientaciones.

Esto posee 4 generalidades de los dispositivos para la regulación de tránsito para garantizar la eficiencia y correcta aplicación de las mismas.

- a. Función: Estas deben reglamentar e informar a los usuarios, por intermedio de las señales de tránsito, sobre la manera correcta de circular con el fin de aumentar la eficiencia, la seguridad y la comodidad de las vías, así como proporcionar una circulación más ágil.
- b. Visibilidad: Para garantizar la visibilidad de las señales y lograr la misma forma y color tanto en el día como en la noche, los dispositivos para la regulación del tránsito deben ser elaborados preferiblemente con materiales reflectivos o estar convenientemente iluminados. La reflectividad se consigue fabricando los dispositivos con materiales adecuados que reflejen las luces de los vehículos, sin deslumbrar al conductor.
- c. Uso: Con el fin de garantizar la efectividad de los dispositivos para el control del tránsito, es de relevante importancia elaborar siempre un estudio minucioso que permita establecer el mejor uso y ubicación de las señales evitando inconvenientes por su mala utilización, además de facilitar la comprensión de las señales y el acatamiento por parte de los usuarios.
- d. Conservación: Todas las señales que regulen el tránsito, deben permanecer en su correcta posición, limpias y legibles durante el tiempo que estén en la vía. Los programas de conservación deben incluir el reemplazo de los dispositivos

²⁵ Ministerio de Transporte, Manuales de Señalización Vial. [Citado el 25 de septiembre 2016]. <Disponible en https://www.medellin.gov.co/movilidad/documents/seccion_senalizacion/cap1_aspectos_grales_senalizacion.pdf>.

defectuosos, el retiro de los que no cumplan con el objeto para el cual fueron diseñados.²⁶

5.1.4.1. Señales verticales

Función: Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas, cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.²⁷

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:








- Señales preventivas
- Señales reglamentarias
- Señales informativas

Las señales verticales de acuerdo a su forma y color se clasifican de la siguiente manera como lo muestra la figura 2.

Figura 2. Clasificación de las señales verticales de acuerdo a su forma y color.

²⁶ Ibíd. P.7.

²⁷ Ibíd. P. 27.

ROMBO  Prevención de peligro	CIRCULO  Imponer o de prohibición	CUADRADO, RECTANGULO  Información
ROMBO AMARILLO  Previene un peligro (ruta normal)	ROMBO ANARANJADO  Previene de peligro (en obra)	
 Prohíbe	 Obligación	

Fuente: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/interolimpicos/transito/espaniol/demhor.htm>

5.1.4.2. Señales Horizontales

La señalización horizontal, corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas.

La señalización horizontal se clasifica así:

5.1.4.2.1. Marcas longitudinales

Líneas centrales, Líneas de borde de pavimento, Líneas de carril, Líneas de separación de rampas de entrada o de salida, Demarcación de zonas de adelantamiento prohibido, Demarcación de bermas pavimentadas, Demarcación de canalización, Demarcación de transiciones en el ancho del pavimento, Demarcación de aproximación a obstrucciones, Demarcación de aproximación a pasos a nivel, Demarcación de líneas de estacionamiento, Demarcación de uso de carril, Demarcación de carriles exclusivos para buses, Demarcación de paraderos de buses, Demarcación de carriles de contraflujo, Flechas.

5.1.4.2.2. Marcas transversales y de bordillos y sardineles

Demarcación de líneas de “pare”, Demarcación de pasos peatonales, Demarcaciones de ceda el paso, Líneas antibloqueo, Símbolos y letreros.

5.1.4.2.3. Marcas de objetos

Dentro de la vía, Adyacentes a la vía.

5.1.5. Diseño Geométrico

El diseño geométrico de carreteras establece cada uno de los parámetros tridimensionales que se deben seguir con el fin último de generar vías confortables, confiables y seguras para el tránsito de vehículos y peatones.

En la realización de una carretera la parte más importante es el diseño geométrico debido a que de acuerdo a este diseño, que es horizontal y vertical, se establecen todos los parámetros de funcionamiento de la carretera, es decir, que la vía sea segura, compatible con el medio ambiente, estética, cómoda y económica. Todo lo anterior se resume a que la vía debe ser funcional de acuerdo a las características geométricas, que correspondan a una movilidad óptima y se refleje en su velocidad de operación.

Según lo anterior el estudio de la carretera en la etapa de diseño se tendrá en cuenta los factores externos, de tránsito y los factores internos (se consideran las velocidades y la geometría de la vía) para determinación de posibles riesgos de accidente.²⁸

5.1.5.1. Clasificación de las carreteras

Según el manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, estas se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno.²⁹ Ver tabla 2.

La doble calzada Bogotá – Villavicencio está clasificada como una vía primaria y el tramo de estudio comprendido entre el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama es de terreno montañoso ya que posee pendientes predominantes que van desde 6% al 8%.

²⁸ CIFUENTES. Op. Cit., P. 26.

²⁹ INVIAS. Op. Cit. P.4.

Tabla 2. Clasificación de las carreteras.

SEGÚN SU FUCIONALIDAD

PRIMARIAS	Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.
SECUNDARIAS	Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.
TERCIARIAS	Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

SEGÚN EL TIPO DE TERRENO

TERRENO PLANO	Tiene pendientes transversales al eje de la vía menores de cinco grados (5°). Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. Sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento (3%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.
TERRENO ONDULADO	Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados (6° - 13°). Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos livianos, sin que esto los lleve a operar a velocidades sostenidas en rampa por tiempo prolongado.
TERRENO MONTAÑOSO	Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados (13° - 40°). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en rampa durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.
TERRENO ESCARPADO	Tiene pendientes transversales al eje de la vía generalmente superiores a cuarenta grados (40°). Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a ocho por ciento (8%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas y en oportunidades frecuentes.

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 1.

5.1.5.2. Velocidad de diseño

La velocidad es un factor importante que debemos tener en cuenta para el diseño geométrico de vías, seguridad vial entre otros, de allí que es un parámetro muy importante para el cálculo de muchos de los aspectos que necesitamos en este proyecto.

Según Cárdenas la velocidad de diseño “se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo de la vía, esta sin ser alterada ni en poner en riesgo las condiciones de comodidad y seguridad.”³⁰

Para poder garantizar la estabilidad de la velocidad, debemos identificar los tramos homogéneos que por las condiciones topográficas similares, de los usos de la tierra, del servicio que se requiere ofrecer, de las consideraciones ambientales, de la homogeneidad a lo largo de la carretera, de las facilidades de acceso (control de accesos), de la disponibilidad de recursos económicos y de las facilidades de financiamiento.

Los siguientes criterios se deben tener en cuenta para poder establecer la Velocidad de diseño en tramos homogéneos.

- “La mínima longitud de un tramo de carretera con una velocidad de diseño proporcionada debe ser de tres kilometro para velocidades entre (20 y 50 km/h) y de cuatro kilómetros para velocidades entre (60 y 110 km/h)
- Se debe tener en cuenta diferencia de velocidad de diseño entre tramos contiguos no puede ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).”³¹

Sin embargo, si debido a lo anterior presenta una evidente cambio en el tipo de terreno en una corta sección de la carretera es preciso establecer un tramo con la longitud mínima, la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos contiguos no puede ser mayor a (10 km/h).

³⁰ CARDENAS GRISALES, Op. Cit., P. 6.

³¹ INVIAS. Op. Cit. P. 37.

5.1.5.2.1. Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR)

Según el Instituto Nacional de Vías “La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) está dada en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno; en un trayecto de carretera homogénea se puede establecer una velocidad de diseño como nos muestra la tabla 3. A continuación encontramos las velocidades para cada tipo de terreno.”³²

Tabla 3. Valores de velocidad de diseño de los Tramos Homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno

CATEGORIA 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	
Primeria de dos calzadas	Plano											
	Ondulatorio											
	Montañoso											
	Escarpado											
Primeria de una calzadas	Plano											
	Ondulatorio											
	Montañoso											
	Escarpado											
Secundaria	Plano											
	Ondulatorio											
	Montañoso											
	Escarpado											
Terciaria	Plano											
	Ondulatorio											
	Montañoso											
	Escarpado											

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2.

5.1.5.3. Vehículo de diseño

“El diseño geométrico de una vía está orientado a definir un trazado que facilite la circulación de los vehículos tanto en el sentido longitudinal como en su ubicación en el sentido transversal de la calzada.”³³

³² Ibid., P. 37.

³³ Ibid., P. 50.

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 sobrecanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados)”.³⁴

5.1.5.3.1. Tipos de vehículos

Clasificación estipulada por el Ministerio de Transporte en la Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004.

- Vehículos livianos con menos de cinco toneladas (5.0 T) de capacidad tales como automóviles, camionetas y camperos.
- Vehículos pesados con más de cinco toneladas (5.0 T) de capacidad como buses y vehículos de transporte de carga.

Según lo anterior el instituto Nacional de Vías nos habla que los vehículos pesados (vehículos de carga) incurren en las velocidades máximas donde hay pendiente longitudinal, mientras los vehículos livianos inciden en las velocidades máximas en las distancias de visibilidad de parada y distancias de visibilidad de adelantamiento.

Tabla 4. Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN
Vehículo liviano	-
Bus mediano	-
Bus grande	-
2	Camión de dos (2) ejes - Camión sencillo
3	Camión de tres (3) ejes - Dobletroque
3S2	Tractocamión de tres (3) ejes con Semirremolque de dos (2) ejes

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2.

³⁴ Ibid., P. 50.

Tabla 5. Dimensiones principales de los vehículos de diseño.

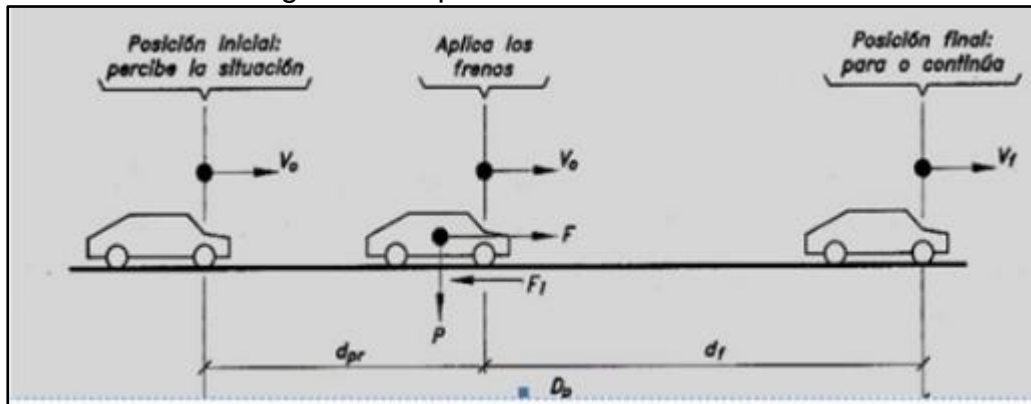
CATEGORIA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO(m)	LONGITUD TRACTOMULA (m)
Vehículo liviano	5	1.8	-
Bus mediano	10.91	2.44	-
Bus grande	13	2.6	-
2	11	2.5	-
3	11.4	2.5	-
3S2	20.89	2.59	4.57

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2.

5.1.5.4. Distancia de visibilidad de parada (Dp)

Se define como “la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo pueda detenerlo antes de llegar a una dificultad que aparezca en su trayectoria al circular a la velocidad determinada (VCH, VETH o VTV) en el cual se comprueba esta distancia de visibilidad.”³⁵

Figura 3. Esquema de adelantamiento



Fuente: Imagen tomada de internet

La distancia de velocidad de parada se calcula de la siguiente manera:

$$D_p = 0.278 \times V_e \times t + 0.039 \times \frac{V_e^2}{a} \quad (9)$$

³⁵ Ibid., P. 58.

Dónde:

- D_p : Distancia de Visibilidad de parada, en metros.
- V_e : Velocidad Específica del elemento sobre el cual se ejerce la maniobra de frenado (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}), en km/h.
- t : Tiempo de percepción – reacción, igual a 2.5 s.
- a : Rata de desaceleración, igual a 3.4 m/s².

Realizando la corrección numérica, la expresión es:

$$D_p = 0.695 \times V_e + \frac{V_e^2}{87.18} \quad (10)$$

Tabla 6. Distancia de visibilidad de parada en tramos de nivel

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (km/h)	DISTANCIA PERCEPCIÓN-REACCIÓN (m)	DISTANCIA DURANTE EL FRENADO A NIVEL (m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	
			CALCULADA (m)	REDONDEADA (m)
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	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129	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

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2

Tabla 7. Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente

VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m) D _p					
	DESCENSO			ASCENSO		
	- 3%	- 6%	- 9%	+ 3%	+ 6%	+ 9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 2

5.1.5.5. Peraltes (e)

El peralte es la inclinación transversal de la vía en las curvas. Se construye para compensar la fuerza centrífuga (que haría que el vehículo se saliera de la calzada) con la fuerza del peso sobre la rasante de la curva.

$$e = \frac{v^2}{127R} - f \quad (11)$$

Dónde:

e = peralte

v= velocidad de operación

R= radio de curvatura

f = coeficiente de fricción

En la tabla 8 se observa la relación entre velocidad de diseño, velocidad de operación y peralte.

Tabla 8. Relación para determinar radios de curvaturas y peraltes, con la velocidad.

Velocidad de diseño	Velocidad de operación	Peralte (%)	Coeficiente de fricción	RADIOS	
				Calculados	Redondeados
40	38	10	0.185	44.20	50
50	47	9	0.165	77.19	80
60	56	8	0.157	119.60	120
70	63	7	0.152	173.79	180
80	72	6	0.144	247.027	250
100	88	4.5	0.133	442.36	450
120	105	3	0.122	745.959	750

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras 2008

Este peralte se puede clasificar también de acuerdo con el tipo de carretera determinando el peralte máximo, para:

- Carreteras primarias y secundarias

Peralte máximo = 8%

Con el fin de no afectar considerablemente a los vehículos pesados que van a poca velocidad

5.1.5.6. Radio de curvatura mínimo (RC_{mín})

El radio mínimo (R_{Cmín}) es el valor límite de curvatura para una Velocidad Específica (V_{CH}) de acuerdo con el peralte máximo (e_{máx}) y el coeficiente de fricción transversal máxima (f_{Tmáx}). El Radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. El radio mínimo se calcula de acuerdo al criterio de seguridad ante el deslizamiento mediante la aplicación de la ecuación de equilibrio:³⁶

$$R_{Cmin} = \frac{(V_{CH})^2}{127 \times (e_{máx} + f_{Tmáx})} \quad (12)$$

En las tablas 9 y 10 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}).

³⁶ Ibid., P. 104.

Tabla 9. Radios mínimos para peraltes máximos $e_{\text{máx}} = 8\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{T\text{máx}}$	TOTAL $e_{\text{máx}} + f_{T\text{máx}}$	RADIO MÍNIMO (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

Fuente. Instituto Nacional de Invias. Manual para Diseño Geométrico para Carreteras. 2008.

Tabla 10. Radios mínimos para peralte máximo $e_{\text{máx}} = 6\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{T\text{máx}}$	TOTAL $e_{\text{máx}} + f_{T\text{máx}}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6,0	0,35	0,41	7,7	15 ⁽¹⁾
30	6,0	0,28	0,34	20,8	21
40	6,0	0,23	0,29	43,4	43
50	6,0	0,19	0,25	78,7	79
60	6,0	0,17	0,23	123,2	123

Fuente. Instituto Nacional de Invias. Manual para Diseño Geométrico para Carreteras. 2008.

5.1.5.6.1. Empalme circular simple

Los empalmes curvas circulares presentan una curvatura constante, la cual es inversamente proporcional al valor del radio. En el diseño de carreteras corresponde a un elemento geométrico de curvatura rígida.³⁷

PI: Punto de cruce de dos tangentes que forman el empalme.

PC: Punto de inicio del empalme.

PT: Punto final del empalme.

Δ : Ángulo de deflexión en el PI, en grados o radianes.

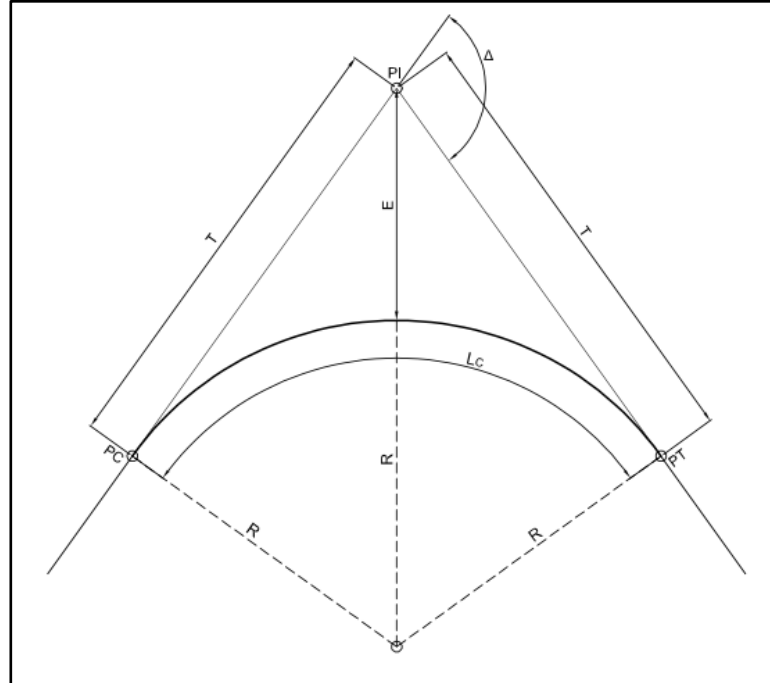
R: Radio del arco circular, en metros.

³⁷ Ibid., p. 74

Lc: Longitud del arco circular, en metros.

T: Tangente del empalme, en metros.

Figura 4. Elementos del empalme circular simple.



Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 3.

$$Lc = R \times \Delta ; \Delta \text{ en radianes} \quad (13)$$

$$T = R \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right); \Delta \text{ en grados} \quad (14)$$

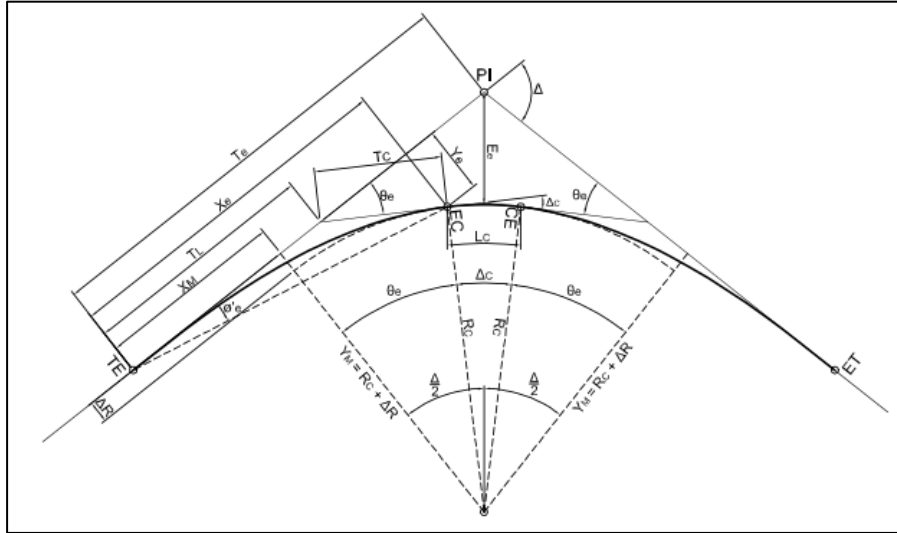
$$E = T \times \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right); \Delta \text{ en grados} \quad (15)$$

5.1.5.6.2. Empalme espiral - círculo - espiral

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).³⁸ La longitud mínima aceptable del tramo circular para la espiral - círculo - espiral, simétrica o asimétrica, es la correspondiente a la distancia que pueda recorrer un vehículo a la Velocidad Específica (V_{CH}) del elemento durante dos segundos (2 s).

³⁸ Ibid., P. 79.

Figura 5. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico).

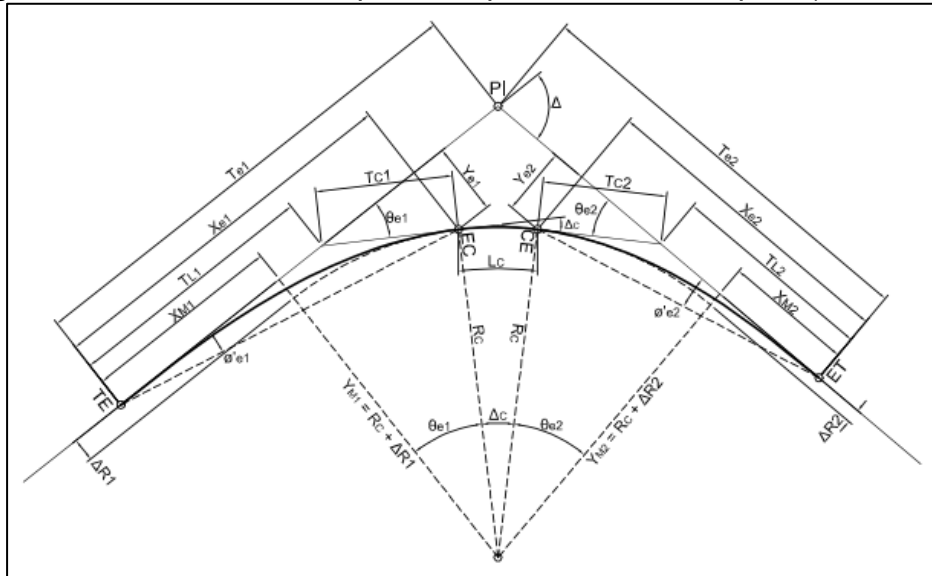


Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 3.

5.1.5.6.3. Elementos del empalme espiral – círculo – espiral asimétrico

El conjunto del empalme espiralizado asimétrico tiene además los siguientes elementos que deben ser calculados para definir su diseño³⁹:

Figura 6. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (asimétrico).



Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 3.

³⁹ Ibid., P. 80.

- Deflexión en el PI o deflexión total del empalme:

$$\Delta = \theta e1 + \theta e2 + \Delta c \quad (16)$$

- Deflexión del tramo circular o ángulo al centro del empalme circular:

$$\Delta c = \Delta - (\theta e1 + \theta e2) \quad (17)$$

- Longitud del empalme circular:

$$Lc = \Delta c \times Rc ; \Delta c \text{ en radianes} \quad (18)$$

5.1.5.6.4. Empalme espiral – espiral

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 $Lc = 0$). Puede ser un empalme espiralizado simétrico o asimétrico, es decir los parámetros de las espirales pueden ser iguales o diferentes.⁴⁰

Para el empalme espiral – espiral simétrico:

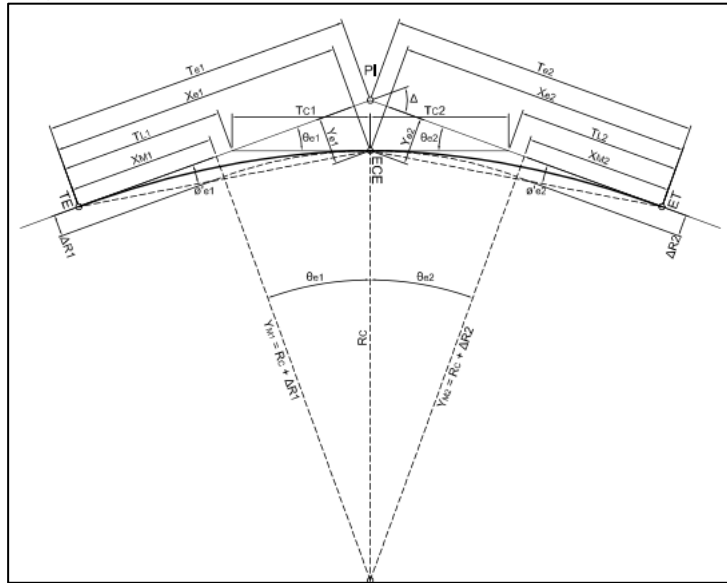
$$\theta e1 = \theta e2 ; \text{ también } \Delta = 2 \times \theta e \quad (19)$$

Para el empalme espiral – espiral asimétrico:

$$\Delta = \theta e1 + \theta e2 \quad (20)$$

⁴⁰ Ibid., P. 83.

Figura 7. Elementos del empalme espiral – espiral.

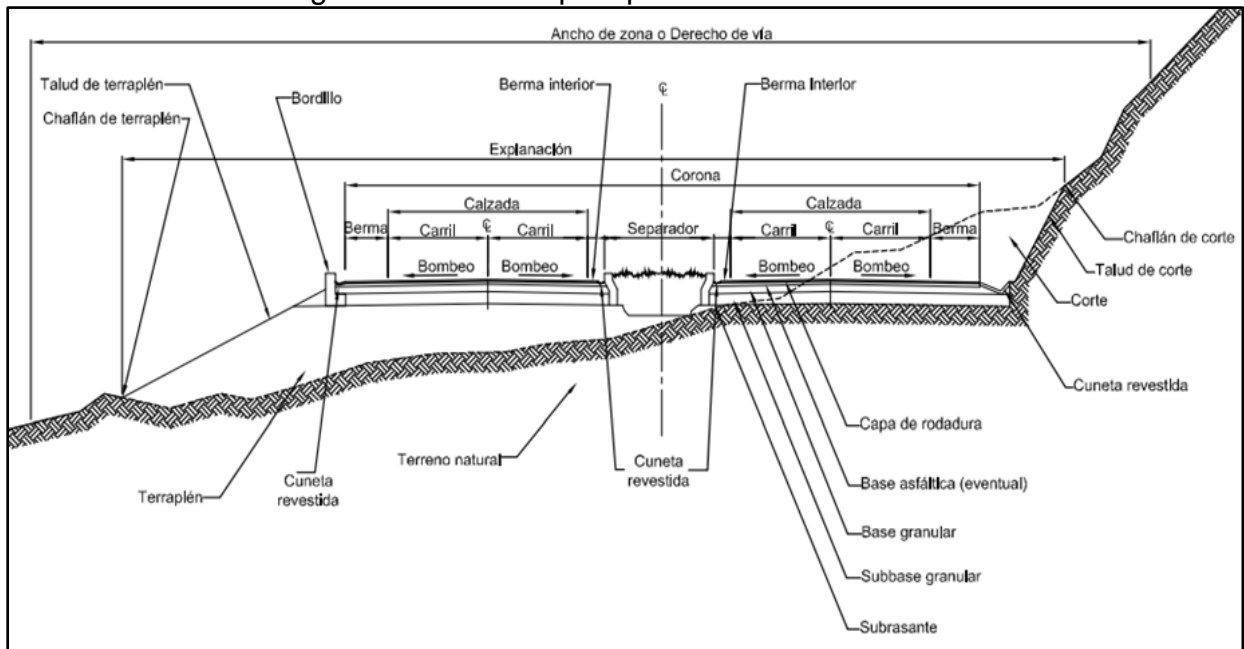


Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 3.

5.1.5.7. Sección transversal de la carretera

La sección transversal describe los elementos de la vía en un plano normal a su eje.

Figura 8. Sección típica para una doble calzada.



Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 5.

5.1.5.8. Ancho de zona o derecho de vía

Según el instituto nacional de Vías 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.”⁴¹

Tabla 11. Radios de zona.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	ANCHO DE ZONA (m)
Primaria de dos calzadas	> 30
Primaria de una calzada	24 – 30
Secundaria	20 – 24
Terciaria	12

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 5.

5.1.5.9. Calzada

La calzada es una parte destinada a la circulación de los vehículos y está formada por dos o más carriles, donde un carril es la franja por donde transita una fila de vehículos. Esta puede o no puede estar pavimentada, si lo está, se considera de los bordes internos de la berma y esta demarcada con pintura para definir sus carriles.

5.1.5.9.1. Ancho de calzada

En el cuadro 12 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 (6m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario.⁴²

⁴¹ Ibid., P. 147.

⁴² Ibid., P. 151.

Tabla 12. Anchos de calzada (metros).

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	7.00	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 5.

5.1.5.10. Bermas

De acuerdo al artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: “parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.”⁴³

También permite asegurar una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

El ancho de las bermas que depende de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}) los cuales se evidencian en la tabla 13.

⁴³ Ley 769 del 6 de agosto de 2002, aparecida en el Diario Oficial número 44.893 del 7 de agosto de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. [Citado el 22 de septiembre del 2016]. <Disponible en <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=181>>.

Tabla 13. Anchos de bermas.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas 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
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria ²	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 5.

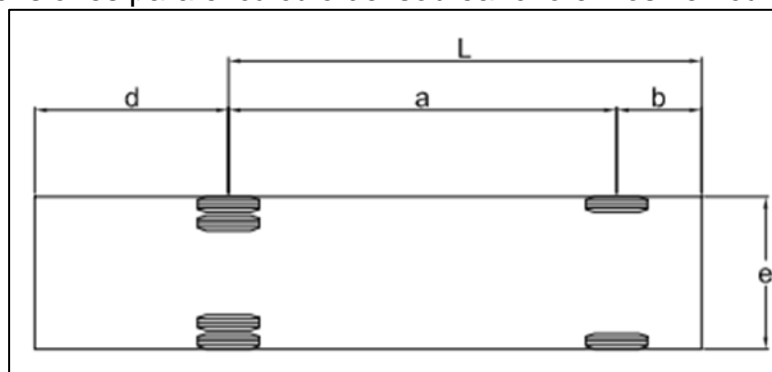
5.1.5.11. Sobre ancho en las curvas

En curvas el sobre anchó se determina según el tipo de vehículos comerciales que circulan diariamente por la vía, se requiere ensanchar la calzada con el fin de asegurar espacios adecuados entre los vehículos que se atraviesan en calzadas bidireccionales.

En vías de dos carriles y dos sentidos, para anchos de calzada en entretangencia mayores de siete metros (7.0 m), no se requiere sobreancho, a excepción de las curvas con ángulos de deflexión mayor a ciento veinte grados (120°).⁴⁴

5.1.5.11.1. Determinación del sobreancho

Figura 9. Dimensiones para el cálculo del sobreancho en los vehículos de tipo rígido



⁴⁴ Ibid., P. 156.

	CATEGORÍA	a (m)	b (m)	d (m)	e (m)	L (m)
	Vehículo liviano	2.90	0.80	1.30	1.80	3.70
	Bus mediano	6.49	0.76	3.66	2.44	7.25
	Bus grande	7.00	2.70	3.30	2.60	9.70
2	Camión de dos ejes	6.60	1.40	3.20	2.50	8.00
3	Camión de tres ejes o dobleroque	6.55	1.25	3.20	2.50	7.80

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 5.

$$S = n \times \left(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) \quad (21)$$

Dónde: S: Sobreechanco requerido para la calzada.

n: Número de carriles.

RC: Radio de la curva circular

Dónde L: Distancia entre el parachoques delantero y el eje trasero del vehículo. ⁴⁵

5.2. MARCO LEGAL

5.2.1. Generalidades

Debido a los graves problemas que se presentaban por los continuos deslizamientos de tierras causados por la inestabilidad en el tramo comprendido entre Chipaque y Cáqueza y por las deficientes especificaciones técnicas del corredor hacia Villavicencio, el gobierno decide mediante documento Conpes 2654 de 1993 el mejoramiento de la vía. Así mismo, el 2 de agosto de 1994, a la Concesionaria Vial de los Andes COVIANDES S.A. se le adjudica los estudios, diseños, construcción, operación y mantenimiento del sector Bogotá – Cáqueza y el mantenimiento y operación del sector k55 + 000 – Villavicencio.

⁴⁵ Ibid., P. 155.

Tabla 14. Normas, leyes o artículos para la construcción y mantenimiento de vías.

NORMA / LEY / ARTICULO	OBJETO
Ley 1702 de 2013	Por la cual se crea la agencia nacional de seguridad vial para la aplicación de las políticas y medidas de seguridad vial del país.
Ley 1503 del 29 de diciembre del 2011	Definir lineamientos generales en educación, responsabilidad social empresarial y acciones estatales y comunitarias para promover en las personas la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguras en la vía y en consecuencia, la formación de criterios autónomos, solidarios y prudentes para la toma de decisiones en situaciones de desplazamiento o de uso de la vía pública.
Ley 769 de 2002	Las normas del presente Código rigen en todo el territorio nacional y regulan la circulación de los peatones, usuarios, pasajeros, conductores, motociclistas, ciclistas, agentes de tránsito, y vehículos por las vías públicas o privadas que están abiertas al público, o en las vías privadas, que internamente circulen vehículos; así como la actuación y procedimientos de las autoridades de tránsito.
Ley 1682 del 22 de noviembre del 2013	Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.
Código Nacional de Tránsito	En los artículos 106 y 107 establece los límites de velocidad por el territorio nacional.

Ley 1383 de 2010	Por la cual se reforma la ley 769 de 2002 “Código nacional de Tránsito”.
Licencia Ambiental N° 0081	Por la cual se adopta el seguimiento y control de actividades y obras en ejecución.
Resolución 4577 del 23 de septiembre de 2009	Por el cual se modifica parcialmente el manual de señalización vial – dispositivos para la regulación del Tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia.
CONPES 3612 del 2009	Por el cual se establece el mejoramiento, construcción y mantenimiento de la vía Bogotá a Villavicencio.

Fuente: Elaboración propia según las normas aplicables.

5.3. MARCO GEOGRÁFICO

5.3.1. Localización general del proyecto

La vía Bogotá – Villavicencio hace parte de la Red Nacional de carreteras y se clasifica como ruta 40, uniendo la Cordillera Oriental con Los Llanos en el único acceso con capacidad y nivel de calidad existente entre los Departamentos del Meta, Casanare y Vichada con el resto del País.”⁴⁶ El punto de partida de la carretera comienza en el sur de la ciudad de Bogotá en el barrio Yomasa donde se une la avenida Boyacá con la avenida Caracas. La vía pasa cerca de los municipios de Chipaque y Caqueza y atraviesa a los municipios de Puente Quetame y Guayabetal en Cundinamarca y al corregimiento de Pipiral en el departamento del Meta hasta llegar a Villavicencio. Adicional a lo anterior la vía es de gran importancia ya que une el puerto más importante del país (Puerto de Buenaventura) con la frontera con Venezuela.

⁴⁶ Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo – FONADE – ANI. Proyecto corredor 2 Bogotá – Villavicencio Sector 2.1 Bogotá - El Tablón. Informe Ejecutivo. 2014. P. 38.

Tabla 15. Aspectos Generales.

ASPECTOS GENERALES		
Nombre Concesión	Autopista Bogotá - Villavicencio	
Concesión de	Primera generación	
Contrato No.	444 de 1994	
Concesionario	Concesionaria Vial De Los Andes S.A - COVIANDES	
Plazo concesión	348 Meses	
Tramos	Tramo 2 Portal Bogotá - El Antojito_ 9,21 Km	
	Tramo 3 El Antojito - Puente Real_ 16,3 Km	
	Tramo 4 Puente Real - Puente Téllez_ 12,79 Km	
	Tramo 5 Puente Téllez - Caño Seco_ 32,13 Km	
	Tramo 6 Caño seco - Villavicencio_ 15,13 Km	
Etapas (Fecha Inicio - Finalización)	Diseño	Sep 1994 – May 1996
	Construcción	May 1996 - Sep 1999
	Operación	Ene 1999 – Ago 2023
Adicional No. 1 (Segunda calzada)	Diseño	Ene 2010 – Dic 2010
	Construcción	Jul 2010 – Dic 2017
	Operación	Ene 2018 - Ago 2023 ^b
Estaciones de peaje	Pipiral	
	Puente Quetame	
	Boquerón	

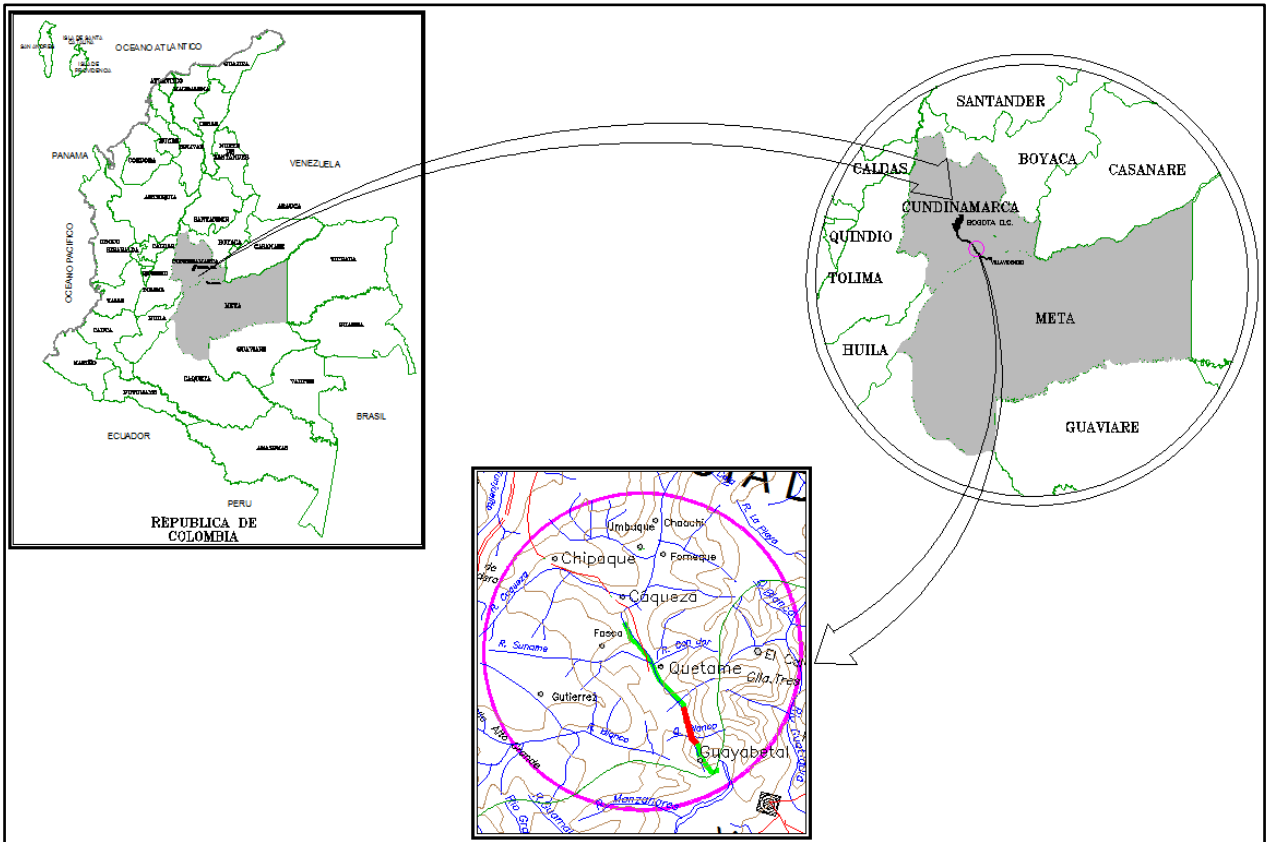
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. ANI

Tabla 16. Sectorización corredor Bogotá – Villavicencio.

TRAMO	DELIMITACIÓN (Puntos de Referencia)
1	Tramo del Distrito a cargo del IDU
2	k 00 + 000 – k 9 + 500 (El Antojito)
3	k 9 + 500 - k 25 + 500 (Puente Real)
4	k 25 + 500 – k 38 + 300 (Puente Téllez) el cual incluye la variante de Cáqueza
5	k 38 + 300 – k 70 + 600 (Caño Seco)
6	k 70 + 600 – k 85 + 600 (Intersección los Fundadores)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. ANI

Figura 10. Localización general vía Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. ANI

En la figura 10 se muestra la localización general de la vía Bogotá – Villavicencio la cual cuenta con una longitud aproximada de 85,6 km. En el año 2005 Coviandes S.A. realiza un estudio de prefactibilidad para identificar los puntos más críticos de la carretera y en el 2006 se da vía libre al inicio de los diseños de doble calzada.

Para el año 2010 se da inicio con la construcción de la doble calzada la cual está contemplada entre el sector del Tablón (Km 34 + 100) hasta Chirajara (Km 63 + 000) y la cual entregara las obras finales en diciembre del 2017 según cronograma de la Concesionaria Vial de los Andes Coviandes S.A.

Hasta la fecha la concesionaria ha entregado y puesto en operación el sector 2 comprendido entre el municipio de Puente Quetame hasta el peaje de Naranjal y sector 3 que va desde el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama.

5.3.2. Ubicación local del tramo en estudio

El estudio en seguridad vial se realizó en el sector 3 de la doble calzada Bogotá – Villavicencio el cual entró a operar el 5 de junio del 2015 y el cual comprende los siguientes puntos de referencia:

Sentido Bogotá – Villavicencio:

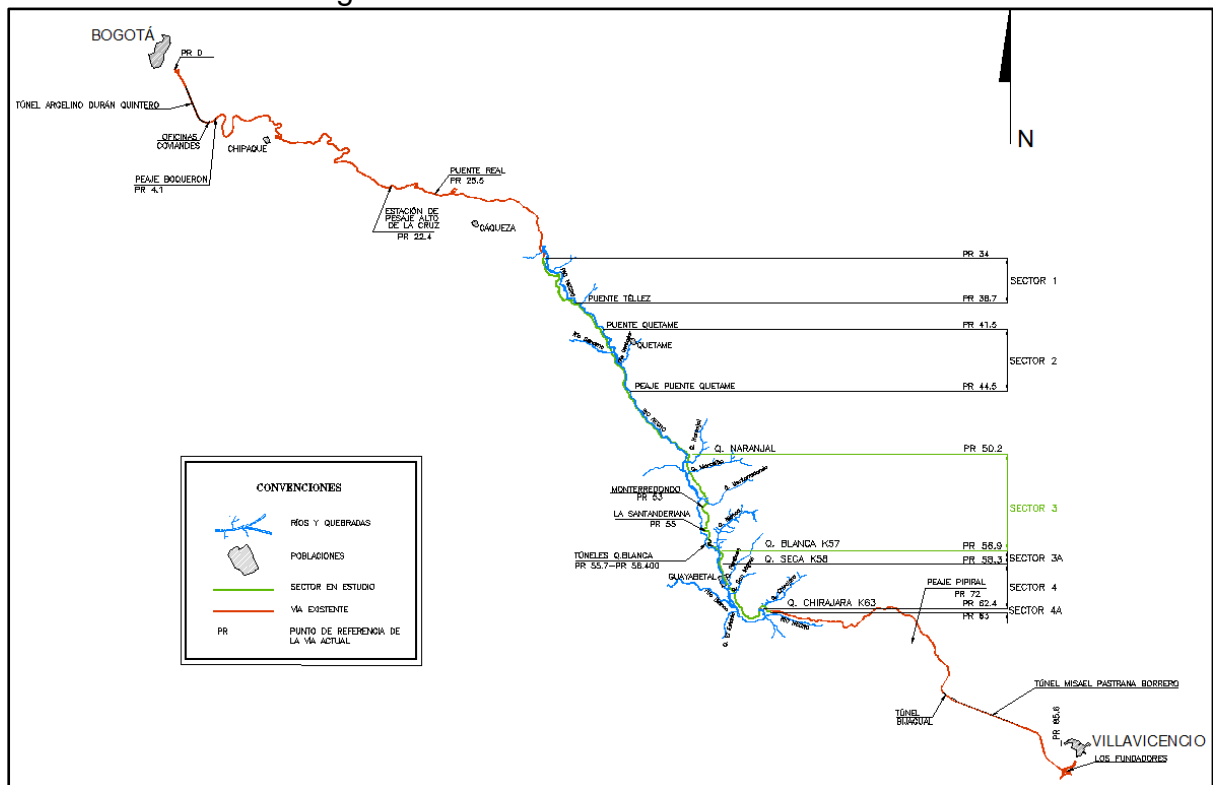
- P.R. inicial: K50 + 240 (Peaje de Naranjal)
- P.R. final: K56 + 930 (Retorno Puente Tequendama)

Sentido Villavicencio – Bogotá:

- P.R. inicial: K56 + 200 (Retorno Puente Tequendama)
- P.R. final: K50 + 240 (Peaje de Naranjal)

Los puntos de referencia en la intersección Tequendama varían ya que la doble calzada en los dos sentidos no es paralela, teniendo una mayor distancia en sentido Bogotá – Villavicencio y una menor distancia en sentido Villavicencio – Bogotá.

Figura 11. Ubicación del tramo en estudio.



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. ANI

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

Esta investigación tuvo un enfoque mixto debido a que maneja tanto variables cuantitativas como cualitativas. Para las variables cuantitativas se tomó la información de accidentes suministrada por la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca con la cual se pudo extraer datos de accidentes y número de muertos y heridos, igualmente, se tuvo los planos e información técnica suministrada por la constructora de la doble calzada CONINVIAL S.A.S., la cual sirvió para determinar las medidas de cada uno de los elementos geométricos de la vía como anchos de berma, anchos de carril, radios de curvatura, entre otros, que ayuden a identificar los puntos críticos. Por otro lado, se tuvo datos de aforos vehiculares que ayudó a tener una cifra real del tráfico promedio diario del tramo en estudio y por último se tuvo análisis de velocidades en diferentes partes del trayecto.

Para las variables cualitativas se tuvo la información de accidentes que tiene que ver con el tipo de vehículo implicado, tipo de accidente presentado y los puntos de referencia exactos de los siniestros. También, se hizo una inspección en terreno identificando el estado y las características de la señalización, una inspección visual del estado del pavimento y de los elementos de contención en el tramo de estudio para poder identificar todos aquellos elementos que interfieren con el normal funcionamiento de la vía.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El método utilizado para el desarrollo del proyecto fue de tipo DESCRIPTIVO – ANALÍTICO, considerando la recolección de la información existente del sector; históricos de accidentalidad y planimetría antes y después de entrar en funcionamiento la doble calzada y el levantamiento y verificación en terreno del estado de la señalización y la infraestructura, se procedió a analizarla y confrontarla para posteriormente hacer una descripción detallada de cuál fue la influencia de la puesta en operación de la doble calzada Bogotá – Villavicencio en el tramo comprendido entre el peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama en ambos sentidos y si la construcción de la misma aumento o disminuyo los índices de accidentalidad.

6.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

6.3.1. Técnicas

Las técnicas empleadas para el desarrollo de este proyecto fueron las siguientes:

6.3.1.1. Observación

La aplicación de esta técnica se llevó a cabo mediante visitas a campo en donde se recopiló datos de nivelación y medición de la vía, aforos vehiculares y velocidad puntual para determinar las características geométricas de la doble calzada en el sector de estudio. Así mismo, se hizo un levantamiento de señalización y estado de la infraestructura vial.

6.3.1.2. Recolección y sistematización de la información

Para la recolección de la información se solicitó a la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca datos de accidentalidad de la vía Bogotá – Villavicencio en los últimos cinco años, también se le solicitó a la constructora de la vía CONINVIAL S.A.S. planos de diseño, construcción y demás información de soporte.

6.3.1.3. Análisis Documental

Mediante esta técnica se realizó la organización de cada uno de los datos recopilados y se extrajo la información más relevante, comparando los datos de accidentalidad, el análisis geométrico y el estado de la señalización para obtener resultados que permitieran identificar los puntos críticos del lugar de estudio, llegar a conclusiones y proponer recomendaciones.

6.3.2. Instrumentos

Los instrumentos empleados para el desarrollo de este proyecto son los siguientes:

6.3.2.1. Cartera de Nivelación

Mediante este instrumento se obtuvo información acerca de pendientes y peraltes en cada uno de los tramos del lugar de estudio (Ver anexos).

6.3.2.2. Lista de chequeo de anchos de vía

Mediante este instrumento se obtuvo información acerca de anchos de carril y bermas en cada uno de los tramos del lugar de estudio (Ver anexos).

6.3.2.3. Formato de conteo de tráfico

Mediante este instrumento se obtuvo el número y tipo de vehículos que transitan por el lugar de estudio en un determinado periodo de tiempo (Ver anexos).

6.3.2.4. Formato de velocidad puntual

Mediante este instrumento se obtuvo la velocidad promedio de varios tipos de vehículo en diferentes puntos del lugar de estudio (Ver anexos).

6.4. FASES DEL DISEÑO METODOLÓGICO

Figura 12. Fases del diseño metodológico.

EVALUACIÓN EN SEGURIDAD VIAL DE LA DOBLE CALZADA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PEAJE DE NARANJAL HASTA LA INTERSECCIÓN TEQUENDAMA			
FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
<ul style="list-style-type: none">• Recolección información de accidentalidad en el tramo de estudio.• Recolección información de las características geométricas del tramo de estudio.	<ul style="list-style-type: none">• Identificación general de la vía y del tramo de estudio de acuerdo a la accidentalidad identificando puntos críticos e índices de accidentalidad.• Determinación de la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad de la vía en la etapa de diseño y operación.• Inspección en campo de la infraestructura vial y de la señalización.	<ul style="list-style-type: none">• Comparación y relación de los índices de accidentalidad con las características geométricas de la vía y los elementos medidos y tomados en campo.	<ul style="list-style-type: none">• Resultados, conclusiones y recomendaciones.

Fuente: Elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD EN EL TRAMO DE ESTUDIO

7.1. GENERAL

Para identificar cuáles fueron los factores que incidieron en la accidentalidad en la vía Bogotá – Villavicencio y más exactamente en el tramo de estudio (Peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama) se hizo necesario contar con datos históricos de accidentes en toda la carretera. Estos datos se obtuvieron a través de la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca. Una vez obtenida esta información se procedió a organizar los datos para analizarlos y determinar los puntos críticos de la vía y del tramo de estudio, y si desde la puesta en operación de la doble calzada (entro en operación el 5 de junio de 2016) hubo un incremento de los accidentes o si por el contrario se redujeron.

7.1.1. Accidentalidad en la vía Bogotá – Villavicencio

Realizando un análisis de la accidentalidad de toda la vía se puede tener una mejor comprensión del comportamiento del tramo en estudio. El análisis se realizó para los años 2013, 2014 y 2015 de la vía Bogotá – Villavicencio y se identificaron los puntos más críticos.

7.1.1.1. Variación de la accidentalidad en la vía

Los datos de accidentalidad entregados por la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca fueron ordenados debidamente para realizar un análisis sencillo y eficaz de la vía. En la tabla 17 se muestra la accidentalidad en los últimos tres años.

Tabla 17. Accidentalidad por año en la vía.

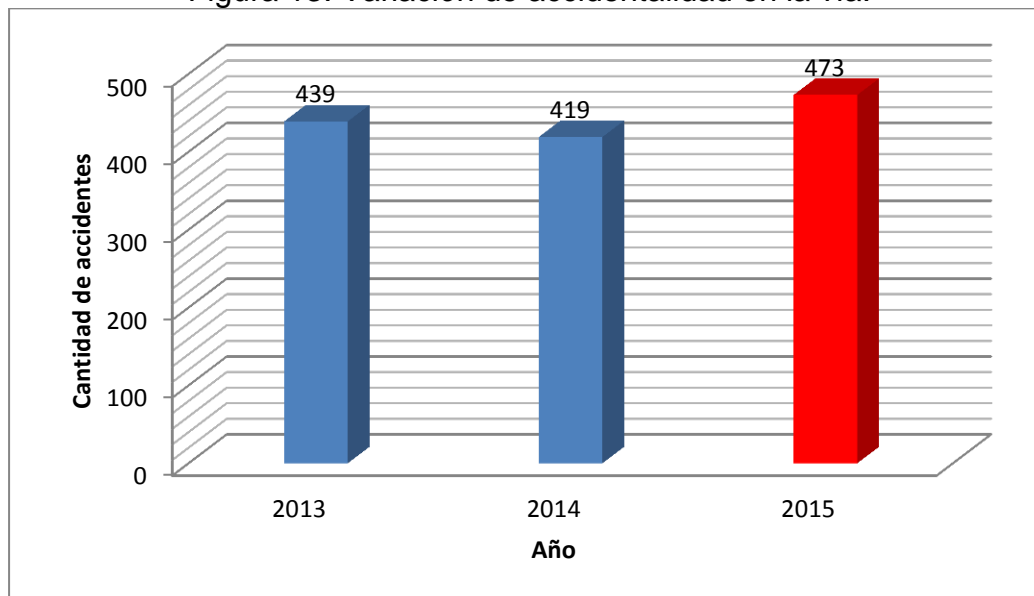
AÑO	ACCIDENTES
2013	439
2014	419
2015	473

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 17 el número de accidentes en toda la vía en el año 2015 fue el mayor en comparación con los años 2013 y 2014 con un incremento de 34

accidentes más con respecto al año 2013 y un incremento de 54 accidentes más con respecto año 2014.

Figura 13. Variación de accidentalidad en la vía.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se muestra que en los años 2013, 2014 y 2015 en toda la vía se presentaron un total de 1331 accidentes de tránsito. Es decir que el año 2013 corresponde al 32.98% de los accidentes totales con 439, el año 2014 corresponde al 31.48% de los accidentes totales con 419 y el año 2015 corresponde al 35.54% de los accidentes totales con 473 accidentes.

Por lo tanto, para el año 2015 se presentó un incremento de accidentes del 7.74% en relación con el año 2013 y un incremento de accidentes del 12.89% en relación con el año 2014. Se hizo necesario identificar si la puesta en operación de la doble calzada en el año 2015 tuvo alguna influencia sobre estas cifras sabiendo de antemano que esta solo ocupa el 7.82% de toda la vía.

7.1.1.2. Número de accidentes por mes y año en la vía

A continuación se muestran los accidentes que se presentaron en cada uno de los meses para los tres años de análisis de toda la vía.

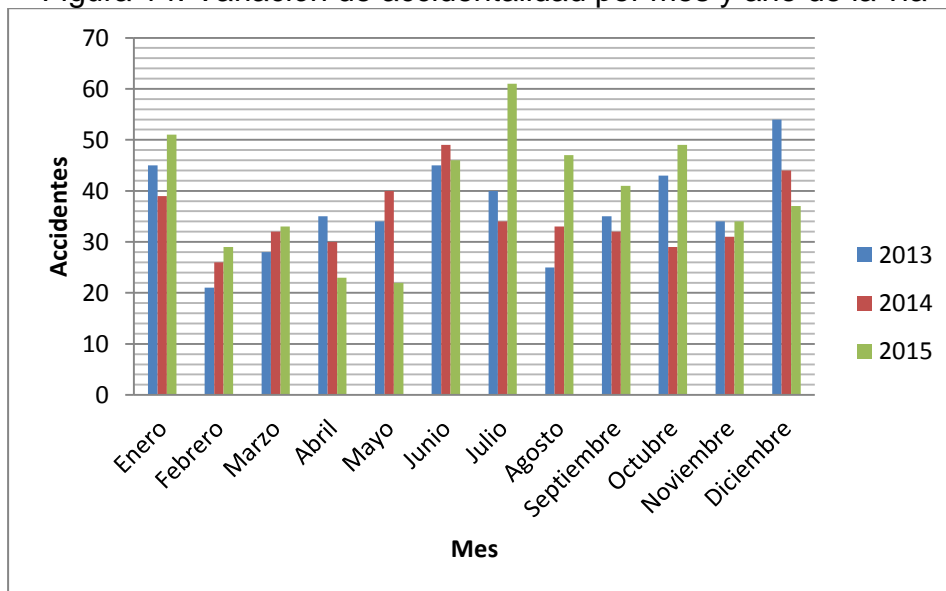
Tabla 18. Número de accidentes por mes y año en la vía.

MES	2013	2014	2015
Enero	45	39	51
Febrero	21	26	29
Marzo	28	32	33
Abril	35	30	23
Mayo	34	40	22
Junio	45	49	46
Julio	40	34	61
Agosto	25	33	47
Septiembre	35	32	41
Octubre	43	29	49
Noviembre	34	31	34
Diciembre	54	44	37
TOTAL	439	419	473

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se evidencia que los meses en donde se presentaron el mayor número de accidentes corresponden a periodos en donde aumentó la circulación de vehículos por ser periodos de vacaciones; comienzo, mediados y fin de año en toda la vía, siendo el mes de julio del año 2015 el periodo con más eventos presentando 61 accidentes. Igualmente, el periodo con menos eventos fue febrero del 2013 con 21 accidentes.

Figura 14. Variación de accidentalidad por mes y año de la vía



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 14 se puede inferir que la tendencia es que los meses donde se presentaron más accidentes fueron periodos de vacaciones donde existe mayor afluencia de vehículos, por el contrario los meses donde se presentaron menos accidentes son periodos valle con poca circulación de vehículos.

7.1.1.3. Número de accidentes según su tipo y gravedad en la vía

En la tabla 19 se logra evidenciar los diferentes eventos que se presentaron en el periodo del 2013 al 2015 a lo largo de la vía Bogotá - Villavicencio teniendo en cuenta la gravedad del accidente el cual se clasifica de dos maneras: muertos y heridos.

Tabla 19. Accidentes según tipo y gravedad en la vía.

EVENTO	Año 2013			Año 2014			Año 2015		
	Accidente	Muertos	Heridos	Accidente	Muertos	Heridos	Accidente	Muertos	Heridos
Choque	333	11	97	314	12	126	413	22	103
Volcamiento	30	3	7	30	2	3	32	2	8
Atropello	12	0	5	12	0	7	14	0	0
Objeto Fijo	53	2	18	42	0	22	2	0	0
Incendio	2	2	0	0	0	0	0	0	0
Semoviente	3	1	0	1	0	0	0	0	0
Otro	6	0	4	20	0	6	12	0	0
TOTAL	439	19	131	419	14	164	473	24	111

Fuente: Elaboración propia

El año 2015 fue el periodo que presentó más accidentes y más muertos de los últimos tres años con 473 eventos y 24 fallecidos pero a su vez fue el que menos heridos tuvo con una cifra de 111, de lo anterior se puede inferir que es el periodo en donde los eventos fueron más severos ocasionando más víctimas mortales que los años anteriores. Más adelante se determinará si la entrada en operación de la doble calzada para el año 2015 tuvo alguna influencia para que estos eventos se incrementaran.

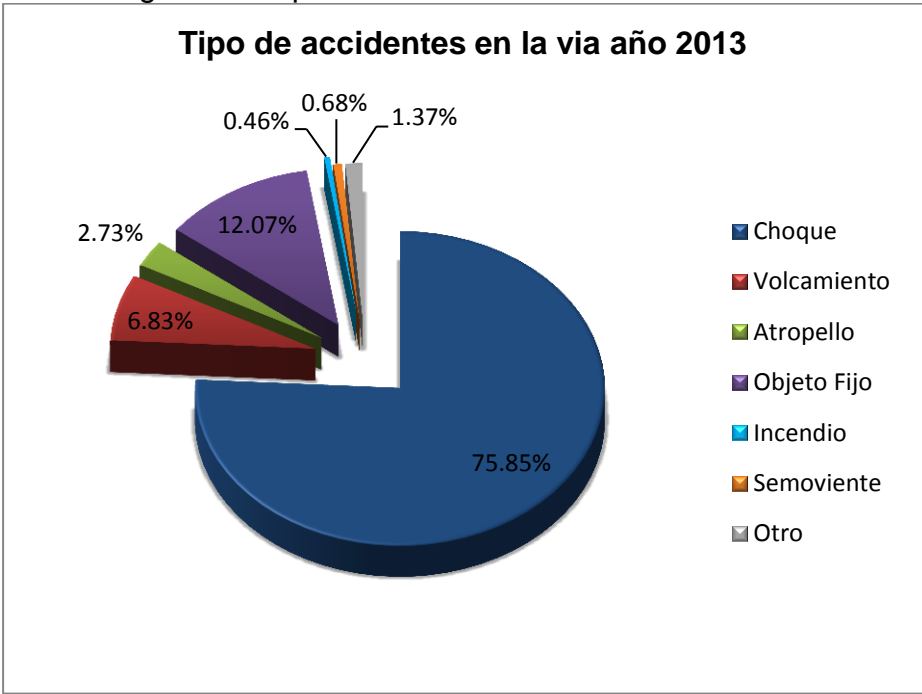
Considerando el periodo de estudio del 2013 al 2015 se evidencia que el evento más común en todos los años es el choque y se aprecia que se mantiene una tendencia, siendo el año 2015 el periodo en donde se presentó más este evento con un total de 413 sucesos y ocasionando 22 muertos y 103 heridos. De acuerdo a la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca las hipótesis más comunes para que este tipo de evento se presente son; no mantener la distancia de seguridad, adelantamiento en zona prohibida, adelantamiento invadiendo el carril del sentido contrario, exceso de velocidad, girar bruscamente o pérdida del control del vehículo y en menor medida; fallas mecánicas, superficie liza o húmeda y caídas de rocas sobre la vía. De lo anterior

se puede determinar que el factor más influyente para que se presenten accidentes en la vía Bogotá – Villavicencio es el factor humano y en menor medida el factor geométrico de la vía, el factor vehículo y el factor entorno.

También vale resaltar que después de los choques los eventos más representativos en la ocurrencia de siniestros en la vía son los volcamientos y los accidentes contra objetos fijos, siendo los volcamientos en el año 2015 el segundo evento con mayor incidencia con 32 acontecimientos ocasionando 2 muertos y 8 heridos. Mientras que para el año 2013 y 2014 el segundo evento con mayor incidencia fue el accidente contra objetos fijos generando 53 sucesos con 2 muertos y 18 heridos para el periodo 2013 y 42 sucesos sin víctimas mortales y con 22 heridos para el periodo del 2014.

De acuerdo a lo anterior las figuras 15, 16 y 17 muestran los tipos de accidentes presentes en la vía Bogotá – Villavicencio en los años 2013, 2014 y 2015.

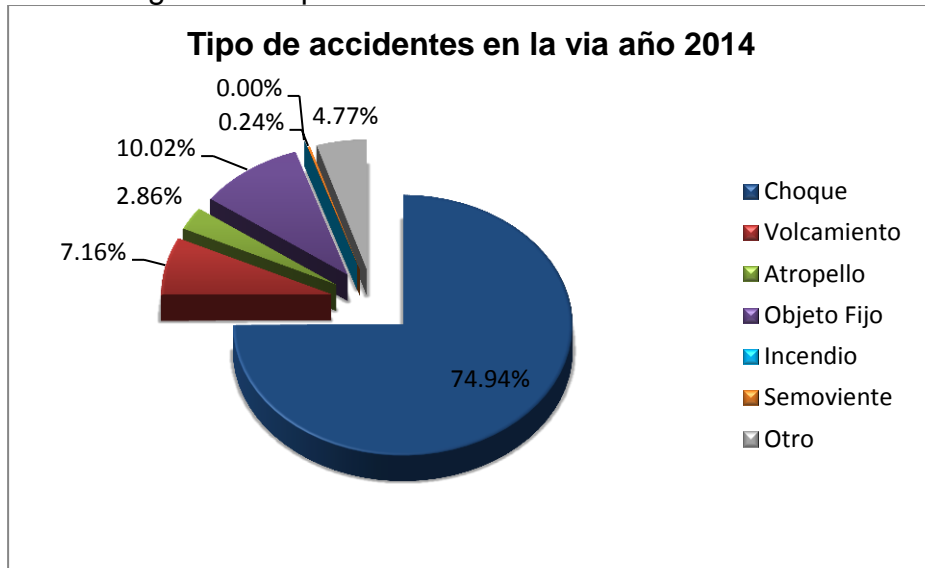
Figura 15. Tipo de accidentes en la vía año 2013.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2013 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tuvo un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en la vía, es así como se presentó un aumento del 63,78% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente ocasionado por objeto fijo y del 69,02% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente por volcamiento.

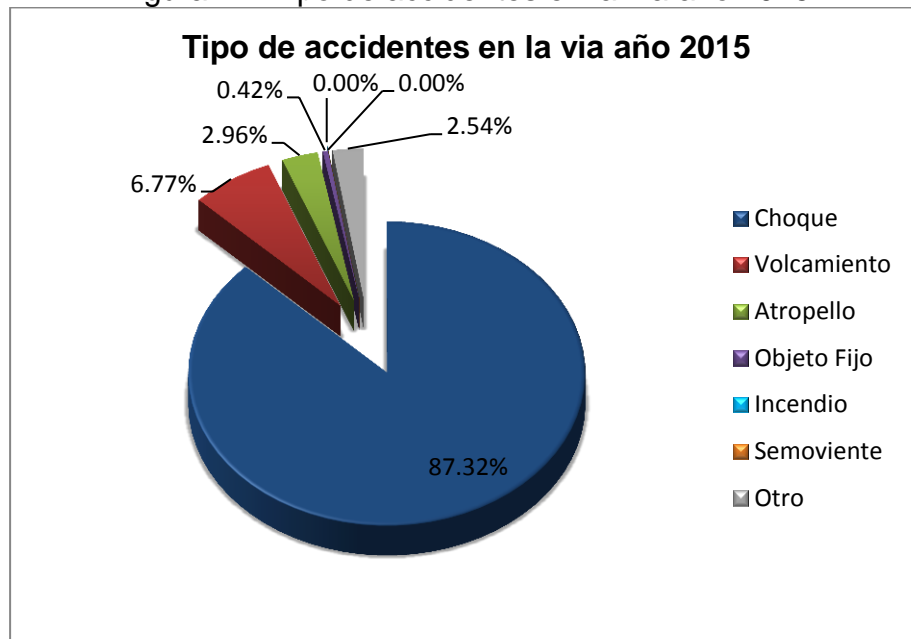
Figura 16. Tipo de accidentes en la vía año 2014.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2014 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tuvo un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en la vía, es así como se presentó un aumento del 64,92% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente ocasionado por objeto fijo y del 67,78% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente por volcamiento.

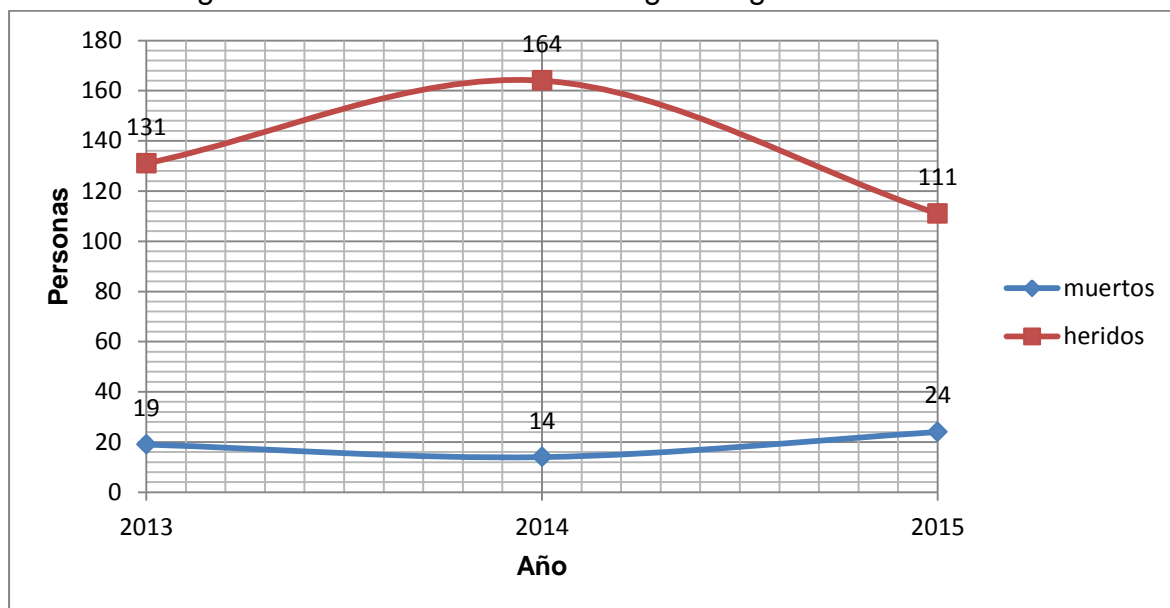
Figura 17. Tipo de accidentes en la vía año 2015.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2015 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tuvo un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en la vía, es así como se presentó un aumento del 80,55% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente por volcamiento y del 84,36% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente ocasionado por atropello.

Figura 18. Total de accidentes según su gravedad en la vía.



Fuente: Elaboración propia

La figura 18 muestra que del año 2013 al año 2014 hubo un incremento de los heridos en la vía Bogotá – Villavicencio en un 25,19% y así mismo un disminución del 32,32% del año 2014 al año 2015.

Por otra parte, del año 2013 al año 2014 hubo una disminución en muertes de un 26,32% y hubo un incremento del 71,43% del año 2014 al año 2015.

7.1.1.4. Número de accidentes según el tipo de vehículo en la vía

En la tabla 20 se muestran los diferentes tipos de vehículo que estuvieron involucrados en accidentes en los años 2013, 2014 y 2015 en la vía Bogotá – Villavicencio. Para el año 2013 el tipo de vehículo que tuvo mayor cantidad de accidentes fue el tracto camión seguido de cerca por el automóvil, mientras que para los años 2014 y 2015 el tipo de vehículo que tuvo mayor cantidad de accidentes fue el automóvil seguido por la camioneta. De lo anterior se puede inferir que a los vehículos de carga pesada se les ha

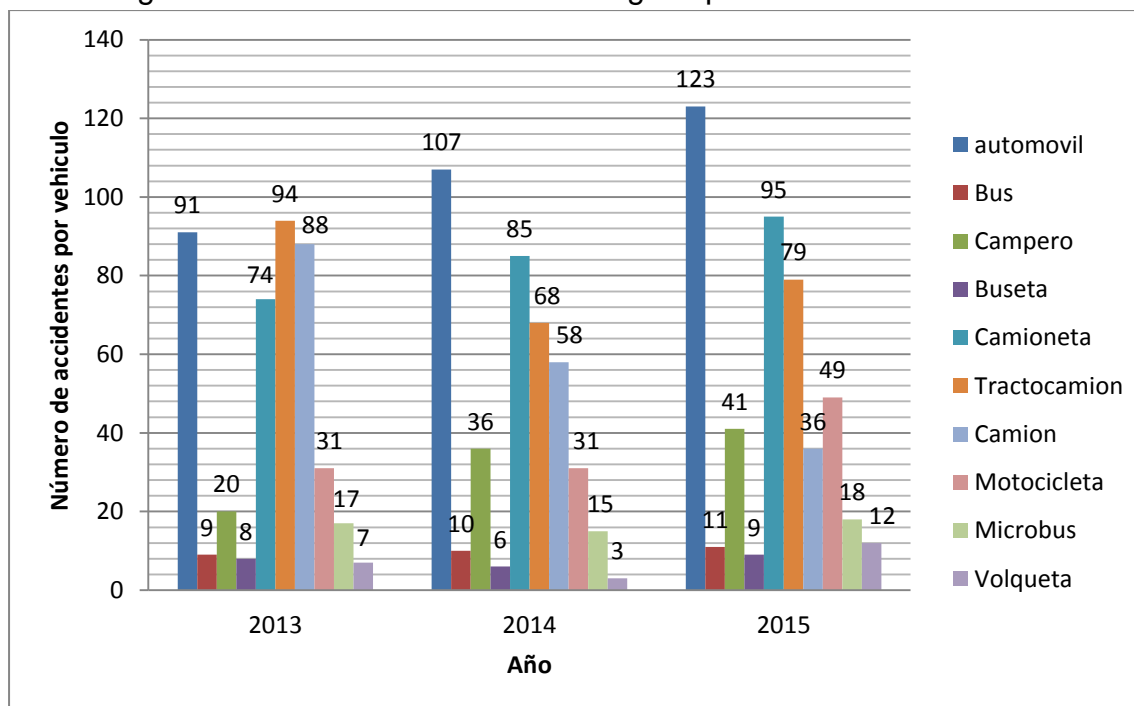
venido haciendo un estricto control por parte de la concesionaria de la vía y de la policía de carreteras en restricciones de circulación en fechas y horas específicas, adicional se puede concluir que el incremento en la accidentalidad de los automóviles en los dos últimos años corresponde precisamente a esa “libertad” que tienen para circular cuando no se encuentran compartiendo la vía con vehículos de carga.

Tabla 20. Accidentes según tipo de vehículo en la vía.

VEHÍCULO	AÑO		
	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Automóvil	91	107	123
Bus	9	10	11
Campero	20	36	41
Buseta	8	6	9
Camioneta	74	85	95
Tractocamión	94	68	79
Camión	88	58	36
Motocicleta	31	31	49
Microbús	17	15	18
Volqueta	7	3	12
TOTAL	439	419	473

Fuente: Elaboración propia

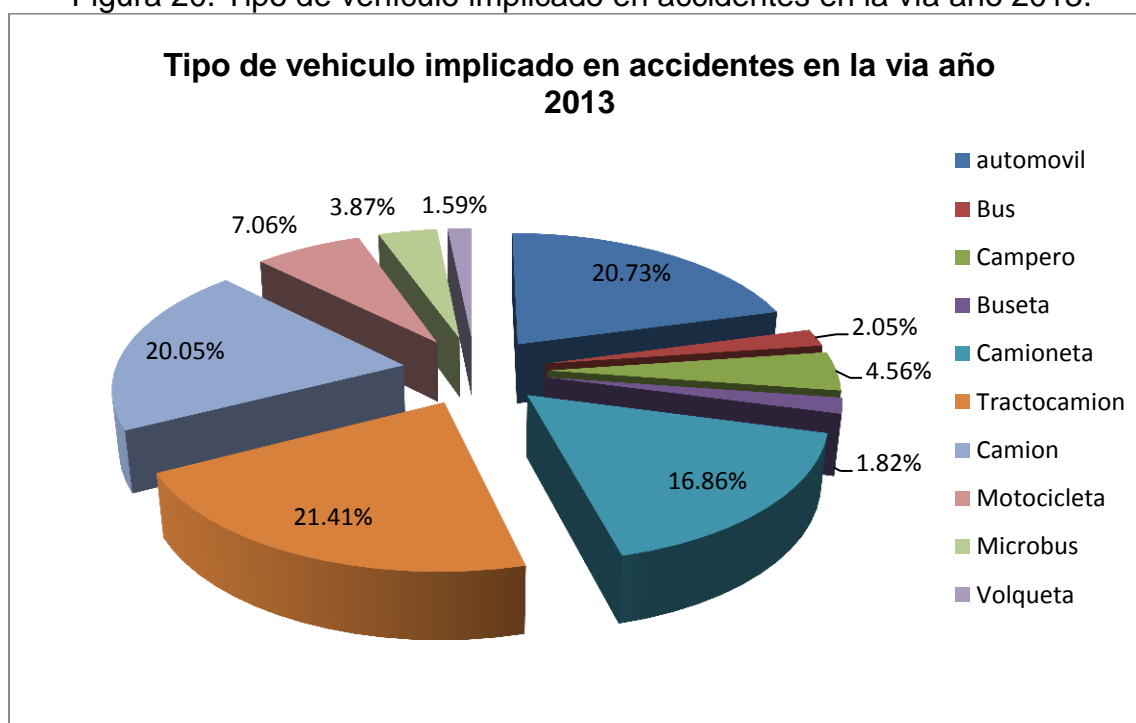
Figura 19. Número de accidentes según tipo de vehículo en la vía.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se muestra el número de accidentes por tipo de vehículo en la vía Bogotá – Villavicencio para el periodo comprendido entre el año 2013 al 2015. Se evidencia que los vehículos que se vieron más comprometidos en accidentes de tránsito fueron los automóviles, las camionetas y los tracto camiones. Los accidentes en automóviles se incrementaron en un 17,58% entre el año 2013 al 2014 y un 14,95% entre el año 2014 al 2015. Los accidentes de camionetas se incrementaron en un 14,86% entre el año 2013 al 2014 y un 11,76% entre el año 2014 al 2015. Por último, los accidentes generados por tracto camiones disminuyeron un 27,66% entre el año 2013 al 2014 y volvieron a aumentarse un 16,18% entre el año 2014 al año 2015.

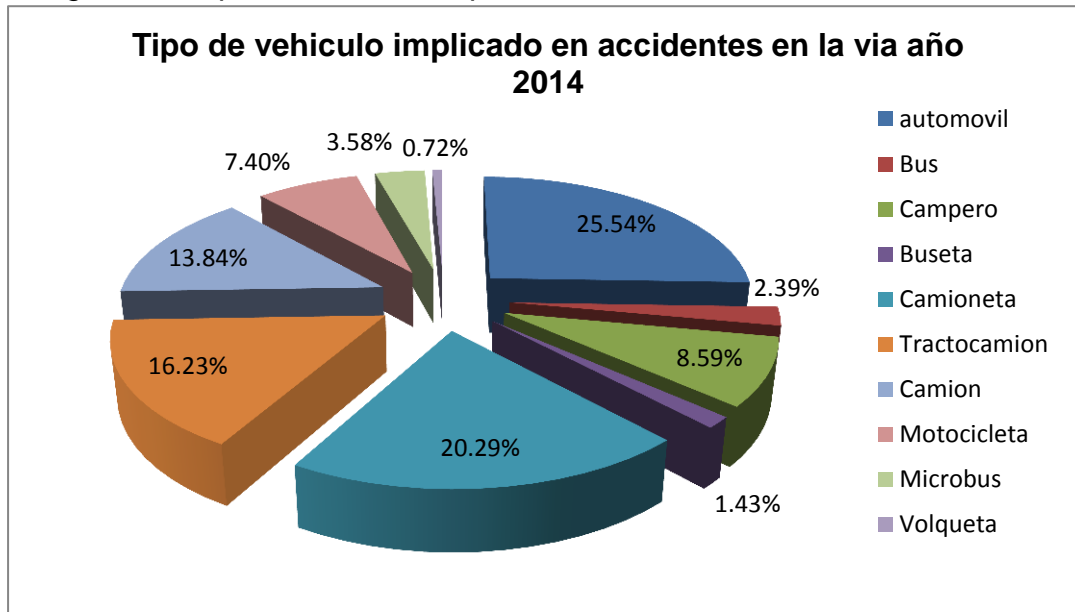
Figura 20. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2013.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2013 se muestra que en la vía Bogotá - Villavicencio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el tracto camión con un 21,41% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en solo un 0,68% a los accidentes en automóviles, en un 1,36% a los accidentes en camiones y en un 4,55% a los accidentes en camionetas.

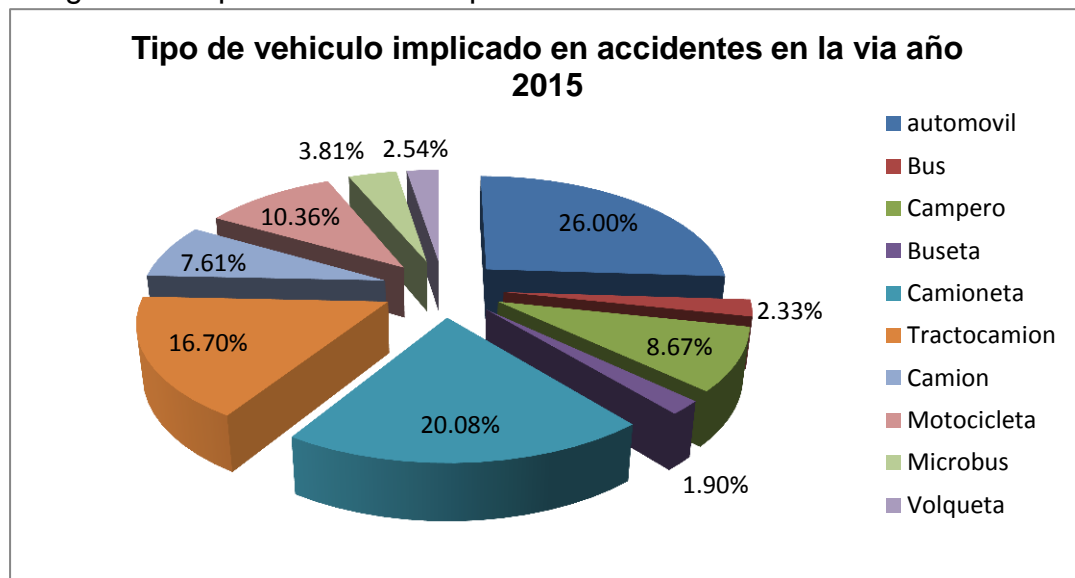
Figura 21. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2014.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se muestra que para el año 2014 en la vía Bogotá - Villavicencio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el automóvil con un 25,54% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en un 5,25% a los accidentes con camionetas, en un 9,31% a los accidentes con tracto camiones y en un 11,70% a los accidentes con camiones.

Figura 22. Tipo de vehículo implicado en accidentes en la vía año 2015.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se muestra que para el año 2015 en la vía Bogotá - Villavicencio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el automóvil con un 26,00% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en un 5,92% a los accidentes con camionetas, en un 9,30% a los accidentes con tracto camiones y en un 15,64% a los accidentes con motocicletas.

7.1.1.5. Sectores críticos de la vía

Tabla 21. Sectores críticos de la vía.

KILOMETRO	AÑO	ACCIDENTES	CONSECUENCIA	
			Muertos	Heridos
K0+000 al K10+000	2013	58	1	4
	2014	52	3	17
	2015	69	1	10
	TOTAL	179	5	31
K10+000 al K20+000	2013	91	8	26
	2014	85	3	50
	2015	86	5	25
	TOTAL	262	16	101
K20+000 al K30+000	2013	55	2	16
	2014	45	4	13
	2015	58	1	16
	TOTAL	158	7	45
K30+000 al K40+000	2013	46	3	17
	2014	39	0	15
	2015	44	1	3
	TOTAL	129	4	35
K40+000 al K50+000	2013	40	1	17
	2014	55	1	19
	2015	65	3	9
	TOTAL	160	5	45
K50+000 al K60+000	2013	114	2	32
	2014	94	2	28
	2015	113	11	32
	TOTAL	321	15	92
K60+000 al K70+000	2013	32	1	16
	2014	41	1	12
	2015	31	1	16
	TOTAL	104	3	44
K70+000 al K80+000	2013	1	0	3
	2014	1	0	4
	2015	0	0	0
	TOTAL	2	0	7
K80+000 al K85+600	2013	0	0	0
	2014	0	0	0
	2015	0	0	0
	TOTAL	0	0	0

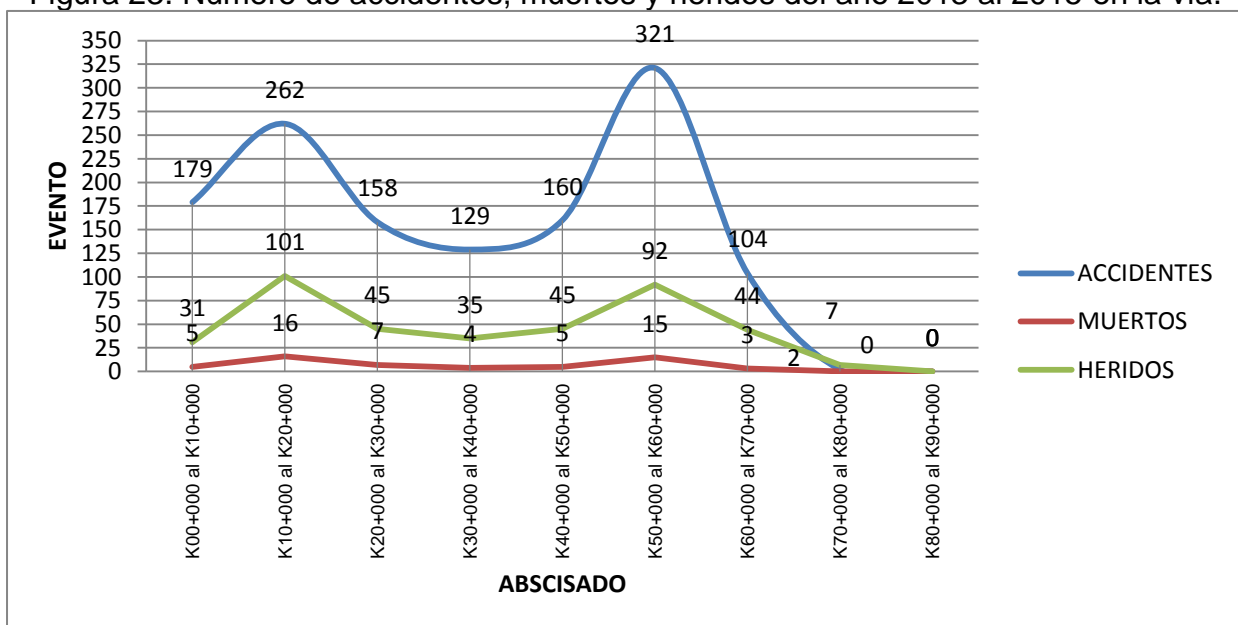
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21 se aprecia el número de accidentes presentados por sectores en los años 2013, 2014 y 2015 en la vía Bogotá – Villavicencio indicando el número de muertos y heridos. Los sectores más críticos de la vía son desde el P.R. K10 + 000 hasta el P.R. K20 + 000 (**Punto crítico N° 1**) el cual va aproximadamente desde el municipio de Chipaque hasta el corregimiento de Abasticos y desde el P.R. K50 + 000 hasta el P.R. K60 + 000 (**Punto crítico N° 2**) el cual va aproximadamente desde el peaje de Naranjal hasta el municipio de Guayabetal.

Se identificó que el punto que presenta mayor número de accidentes es el punto crítico N° 2 (punto donde entro a operar la doble calzada en el año 2015) en comparación con el punto crítico N° 1, pero es el punto crítico N° 1 el que presenta mayor número de muertos y heridos en comparación con el punto crítico N° 2. De lo anterior se concluye que el punto crítico N° 2 a pesar de que presento el mayor número de accidentes no representa tanta peligrosidad para los usuarios como si lo presento el punto crítico N° 1 donde los eventos representaron mayor mortalidad.

Algunos de los factores por los cuales el punto crítico N° 1 puede ser el más peligroso de toda la vía es por la pendiente tan alta que maneja la carretera en este sector, a lo anterior hay que sumarle que la vía se vuelve doble calzada aproximadamente en el P.R. K17 + 000 hasta el P.R. K19 + 000 en donde se aumenta la velocidad de operación por parte de los usuarios y la ausencia de bermas.

Figura 23. Número de accidentes, muertos y heridos del año 2013 al 2015 en la vía.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se identifica el número de accidentes, muertos y heridos en los últimos tres años en todo el trayecto de la vía Bogotá – Villavicencio. Se aprecia que de los 583 accidentes que se presentaron en los dos puntos críticos de la carretera el 44,94% ocurrieron en el punto crítico N° 1 y el 55,06% sucedieron en el punto crítico N° 2.

De los 193 heridos que hubo en los dos puntos críticos el 52,33% ocurrieron en el punto crítico N° 1 y el 47,67% sucedieron en el punto crítico N° 2. De los 31 muertos que hubo en los dos puntos críticos el 51,61% ocurrieron en el punto crítico N° 1 y el 48,39% sucedieron en el punto crítico N° 2.

7.1.2. Accidentalidad en el tramo de estudio

A continuación se hace un análisis de accidentalidad en el tramo de estudio desde el P.R. K50 + 240 (Peaje de Naranjal) hasta el P.R. K56 + 930 (Retorno Puente Tequendama) en los años 2013, 2014 y 2015 y se identifican los puntos más críticos.

7.1.2.1. Variación de la accidentalidad en el tramo de estudio

En la tabla 22 se muestra la accidentalidad presentada en los últimos tres años para el tramo de estudio.

Tabla 22. Accidentalidad por año en el tramo de estudio.

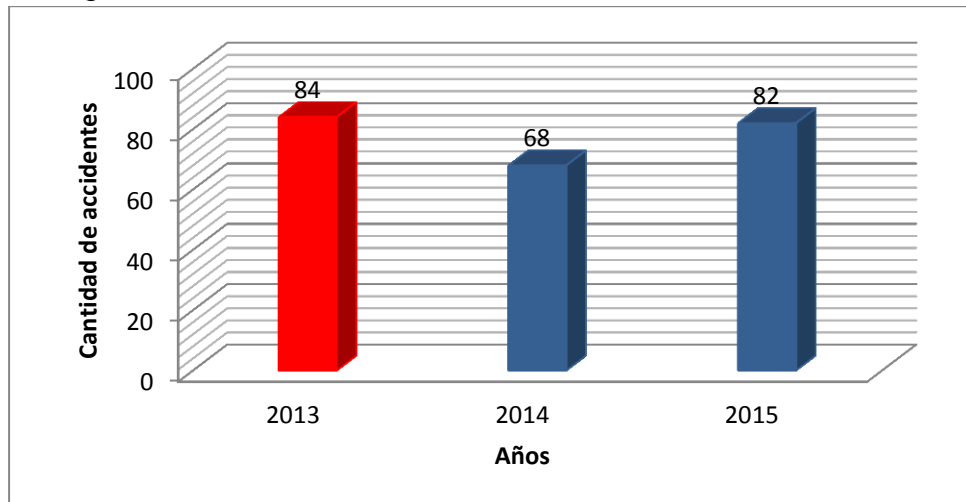
AÑO	ACCIDENTES
2013	84
2014	68
2015	82

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 22 el número de accidentes en el tramo de estudio en el año 2013 fue el mayor en comparación con los dos años siguientes. Para el año 2014 y 2015 hubo una disminución de 16 y 2 accidentes respectivamente.

En la figura 24 se muestra que en los años 2013, 2014 y 2015 en el tramo de estudio se presentaron un total de 234 accidentes de tránsito. El 35,90% de los accidentes corresponden al año 2013, el 29,06% de los accidentes corresponden al año 2014 y el 35,04% de los accidentes corresponden al año 2015. Por lo tanto, para el año 2014 se presentó una disminución del 19,05% en los accidentes con respecto al año 2013 y para el año 2015 se presentó una disminución del 2,38% en los accidentes con respecto al año 2013.

Figura 24. Variación de accidentalidad en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

7.1.2.2. Número de accidentes por mes y año en el tramo de estudio

A continuación se muestran los accidentes que se presentaron en cada uno de los meses para los tres años de análisis en el tramo de estudio.

Tabla 23. Número de accidentes por mes y año en el tramo de estudio.

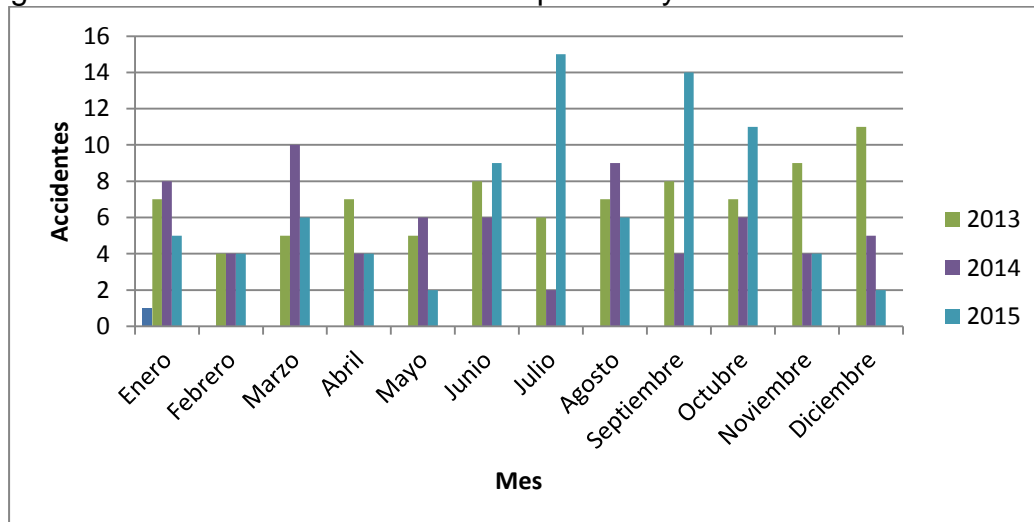
MES	2013	2014	2015
Enero	7	8	5
Febrero	4	4	4
Marzo	5	10	6
Abril	7	4	4
Mayo	5	6	2
Junio	8	6	9
Julio	6	2	15
Agosto	7	9	6
Septiembre	8	4	14
Octubre	7	6	11
Noviembre	9	4	4
Diciembre	11	5	2
TOTAL	84	68	82

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23 se evidencia que a mediados y fin de año se presentaron el mayor número de accidentes en toda la vía siendo el mes de julio del año 2015 el periodo con más eventos presentando 15 accidentes. Igualmente, el periodo con menos eventos fue

julio del año 2014 y mayo y diciembre del año 2015 con 2 accidentes. Precisamente el mes en el cual se presentaron más accidentes la doble calzada ya estaba en operación.

Figura 25. Variación de accidentalidad por mes y año en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 25 se puede inferir que la tendencia es que los meses donde se presentaron más accidentes son periodos de vacaciones donde existe mayor afluencia de vehículos. Por otro lado se evidencia que en el mes de julio del año 2015 hubo un incremento del 71,43% de accidentes con respecto al mismo mes del año 2013 y un incremento del 88,24% con respecto al mismo mes del año 2014.

7.1.2.3. Número de accidentes según su tipo y gravedad en el tramo de estudio

En la tabla 24 se logra evidenciar lo diferentes eventos que se presentaron en el periodo del 2013 al 2015 en el tramo de estudio teniendo en cuenta la gravedad del accidente el cual se clasifica de dos maneras: muertos y heridos.

Tabla 24. Accidentes según tipo y gravedad en el tramo de estudio

EVENTO	Año 2013			Año 2014			Año 2015		
	Accidente	Muertos	Heridos	Accidente	Muertos	Heridos	Accidente	Muertos	Heridos
Choque	62	1	13	54	1	12	77	11	25
Volcamiento	6	1	2	4	1	0	4	0	0
Atropello	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Objeto Fijo	12	0	6	6	0	0	0	0	0
Incendio	1	0	2	0	0	0	0	0	0
Semoviente	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Otro	1	0	0	4	0	3	0	0	0
TOTAL	84	2	24	68	2	15	82	11	25

Fuente: Elaboración propia

El año 2013 fue el periodo que presentó más accidentes en el tramo de estudio con 84 eventos pero fue el año 2015 el periodo que presentó mayor número de muertos y heridos con 11 y 25 respectivamente, es este año precisamente en donde los eventos fueron más severos ya que ocasionaron más víctimas mortales que los años anteriores.

Del total de muertes que se presentaron en toda la vía al llano mediante choque (22 muertes) en el año 2015 el 50% se presentaron en el tramo de estudio y del total de heridos que se presentaron en toda la vía mediante choque (103) en el año 2015 el 24% se presentaron en el tramo de estudio.

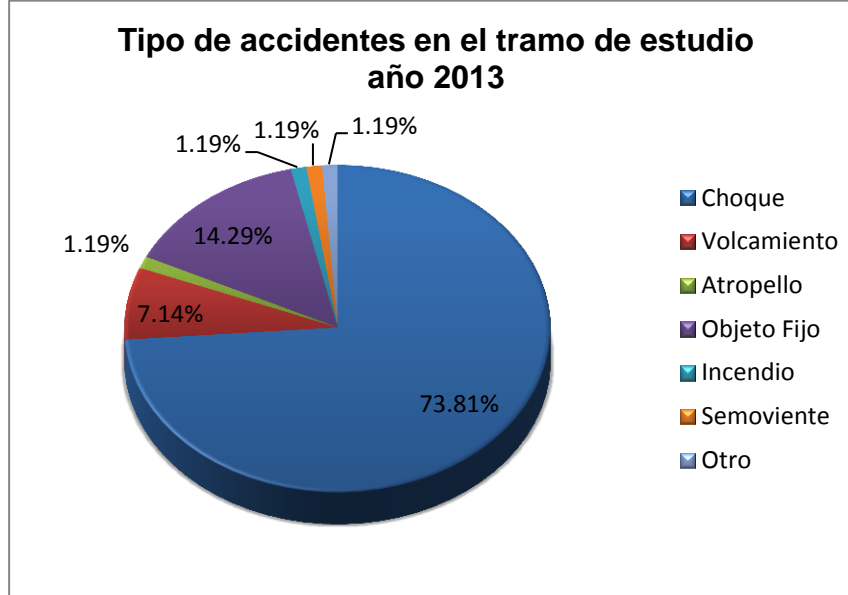
Considerando el periodo de análisis del 2013 al 2015 en el tramo de estudio se evidencia que el evento más común en todos los años es el choque y se aprecia que se mantiene una tendencia, siendo el año 2015 el periodo en donde se presentó más este evento con un total de 77 sucesos.

De acuerdo a la Seccional de Tránsito y Transporte de Cundinamarca las hipótesis más comunes para que este tipo de evento se presente en el tramo de estudio son; no mantener la distancia de seguridad, adelantamiento en zona prohibida, adelantamiento invadiendo el carril del sentido contrario, exceso de velocidad, girar bruscamente o pérdida del control del vehículo y en menor medida; fallas mecánicas, superficie liza o húmeda y caídas de rocas sobre la vía. Al igual que en toda la vía el factor más influyente para que se presenten accidentes en el tramo de estudio es el factor humano y en menor medida el factor geométrico de la vía, el factor vehículo y el factor entorno.

También vale resaltar que después de los choques los eventos más representativos en la ocurrencia de siniestros en la vía fueron los volcamientos y los accidentes contra objetos fijos, siendo los volcamientos en el año 2015 el segundo evento con mayor incidencia con 4 acontecimientos los cuales no fueron mortales. Mientras que para el año 2013 y 2014 el segundo evento con mayor incidencia fue el accidente contra objetos fijos generando 12 sucesos sin muertes y con 18 heridos para el periodo 2013 y 6 sucesos sin víctimas mortales y sin heridos para el periodo del 2014.

De acuerdo a lo anterior las figuras 26, 27 y 28 muestran los tipos de accidentes presentes en el tramo de estudio en los años 2013, 2014 y 2015.

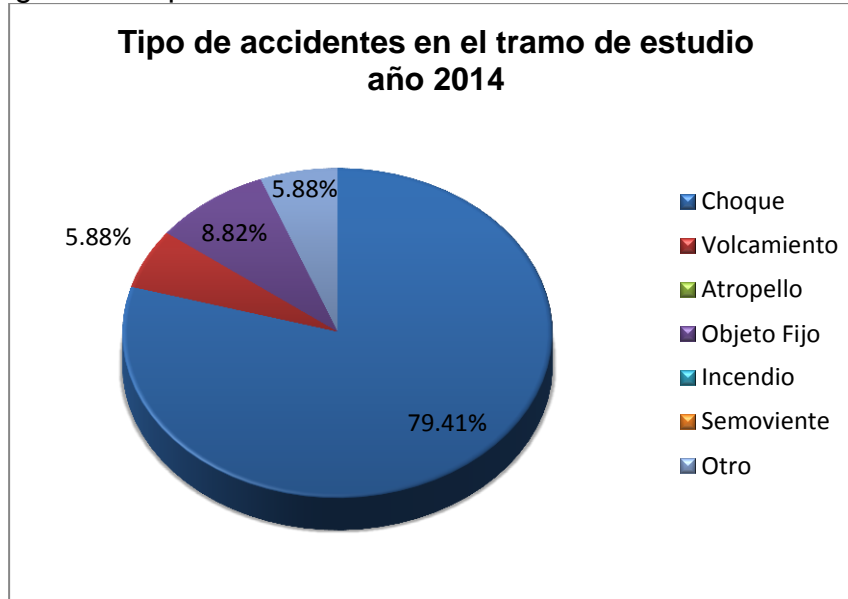
Figura 26. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2013.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2013 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tiene un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en el tramo de estudio, es así como se presentó un aumento del 59,52% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente ocasionado por objeto fijo y del 66,67% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente por volcamiento.

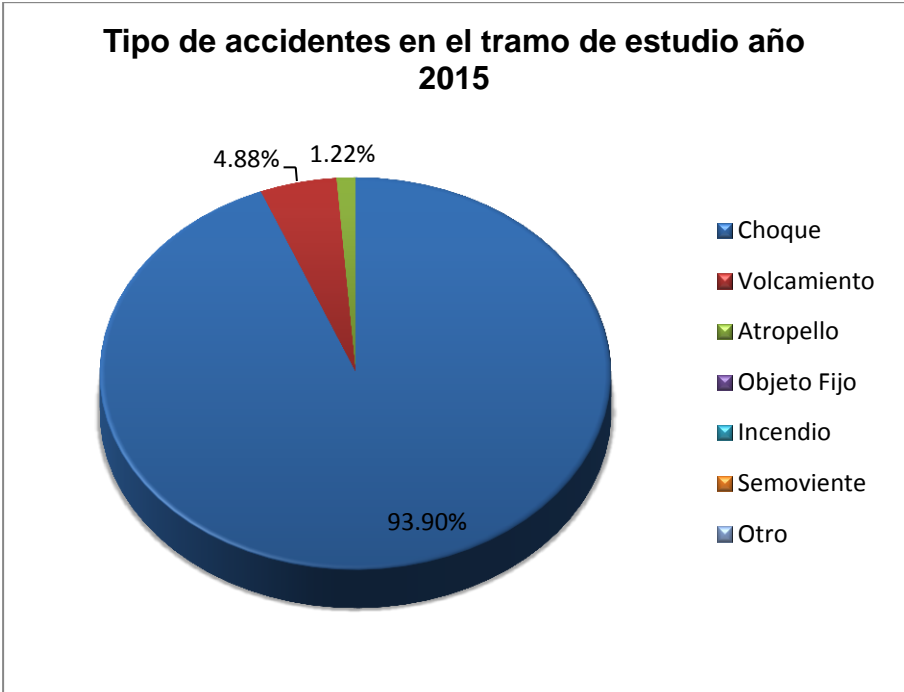
Figura 27. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2014.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2014 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tiene un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en la vía, es así como se presentó un aumento del 70,59% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente ocasionado por objeto fijo y del 73,53% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente por volcamiento.

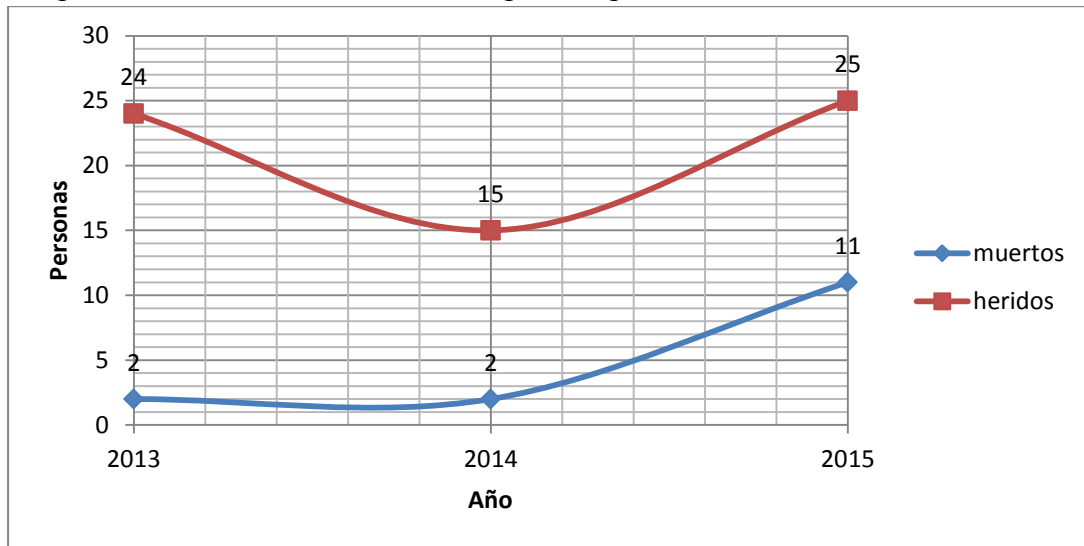
Figura 28. Tipo de accidentes en el tramo de estudio año 2015.



Fuente: Elaboración propia

Para el año 2015 se muestra que el tipo de accidente originado por choque tiene un amplio margen en relación con los demás eventos ocurridos en la vía, es así como se presentó un aumento del 89,02% del tipo de accidente originado por choque en relación con el tipo de accidente por volcamiento y del 92,68% del tipo de accidente choque con respecto al tipo de accidente ocasionado por atropello.

Figura 29. Total de accidentes según su gravedad en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

La figura 29 muestra que del año 2013 al año 2014 hubo una disminución de los heridos en el tramo de estudio en un 37,50% y así mismo un incremento del 66,67% del año 2014 al año 2015.

Por otra parte, del año 2013 al año 2014 se mantuvo la relación de muertos en el tramo de estudio pero hubo un incremento del 450% del año 2014 al año 2015.

7.1.2.4. Número de accidentes según el tipo de vehículo en el tramo de estudio

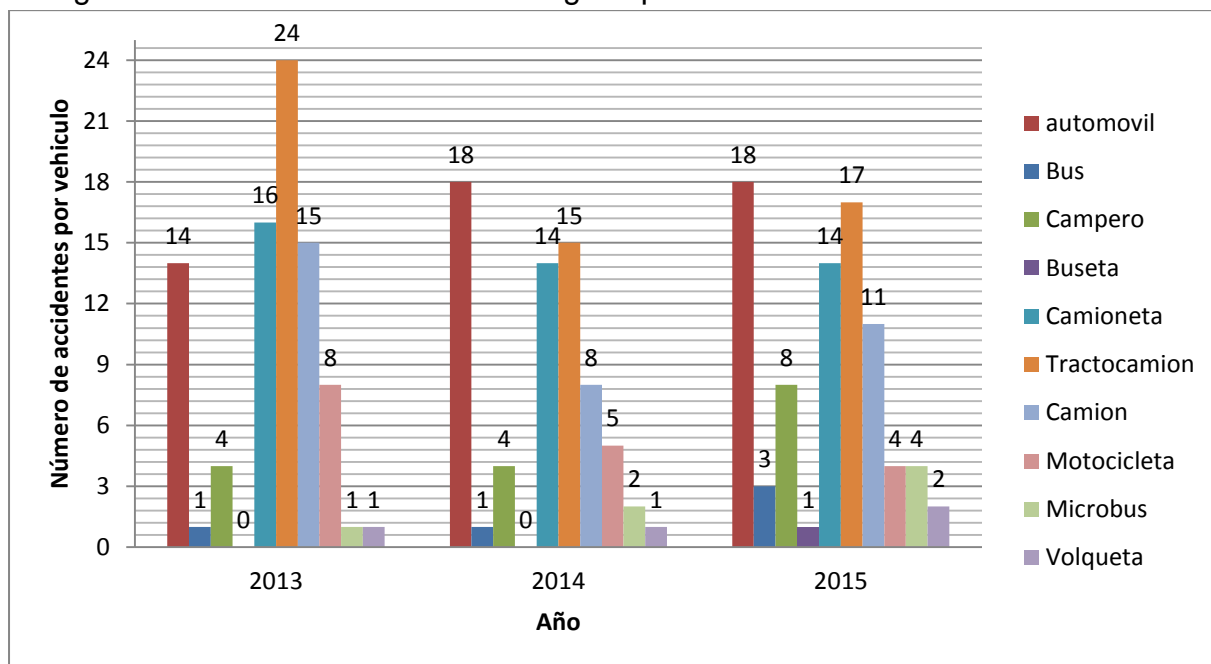
En la tabla 25 se muestran los diferentes tipos de vehículo que estuvieron involucrados en accidentes en los años 2013, 2014 y 2015 en el tramo de estudio. Para el año 2013 el tipo de vehículo que tuvo mayor cantidad de accidentes fue el tracto camión seguido por la camioneta, mientras que para los años 2014 y 2015 el tipo de vehículo que tuvo mayor cantidad de accidentes fue el automóvil seguido por el tracto camión. De lo anterior se puede concluir que a los vehículos de carga pesada se les ha venido haciendo un estricto control de circulación y restricción y debido a esto los vehículos han tenido mayor capacidad de utilizar el tramo aumentando los accidentes.

Tabla 25. Accidentes según tipo de vehículo en el tramo de estudio.

VEHÍCULO	AÑO		
	Año 2013	Año 2014	Año 2015
Automóvil	14	18	18
Bus	1	1	3
Campero	4	4	8
Buseta	0	0	1
Camioneta	16	14	14
Tractocamión	24	15	17
Camión	15	8	11
Motocicleta	8	5	4
Microbús	1	2	4
Volqueta	1	1	2
TOTAL	84	68	82

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Número de accidentes según tipo de vehículo en el tramo de estudio.

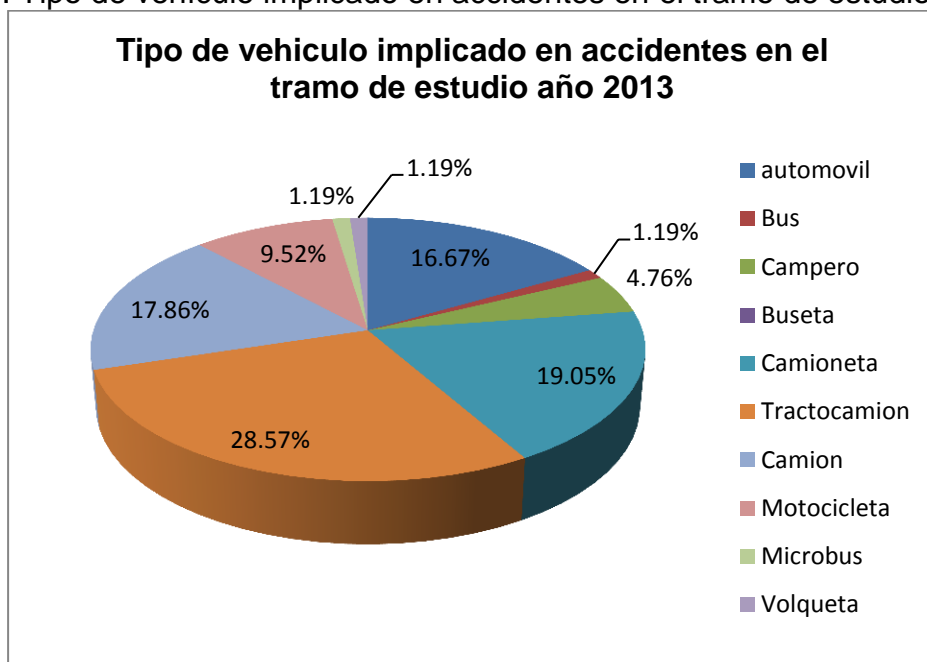


Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se muestra el número de accidentes por tipo de vehículo en el tramo de estudio para el periodo comprendido entre el año 2013 al 2015. Se evidencia que los vehículos que se han visto más comprometidos en accidentes de tránsito son los tracto camiones, los automóviles y las camionetas. Los accidentes en tracto camiones disminuyeron en un 37,50% entre el año 2013 al 2014 y volvieron a aumentar un

13,33% entre el año 2014 al 2015. Los accidentes de automóviles se incrementaron en un 28,57% entre el año 2013 al 2014 y entre el año 2014 y 2015 se mantuvieron constantes. Por último, los accidentes generados por camionetas disminuyeron un 12,50% entre el año 2013 al 2014 y se mantuvieron constantes entre el año 2014 al año 2015.

Figura 31. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2013.

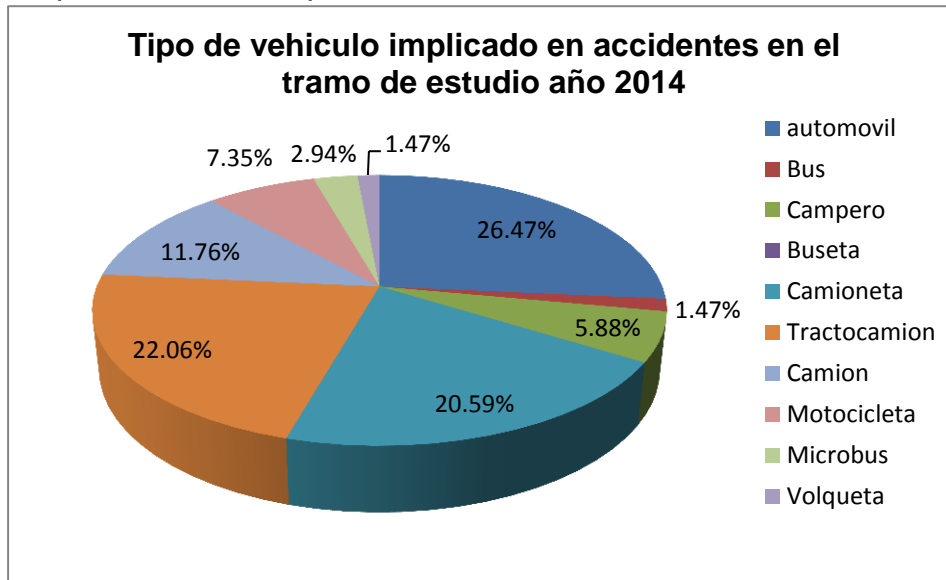


Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 se observa que para el año 2013 en el tramo de estudio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el tracto camión con un 28,57% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en un 9,52% a los accidentes en camioneta, en un 10,71% a los accidentes en camiones y en un 11,90% a los accidentes en automóviles.

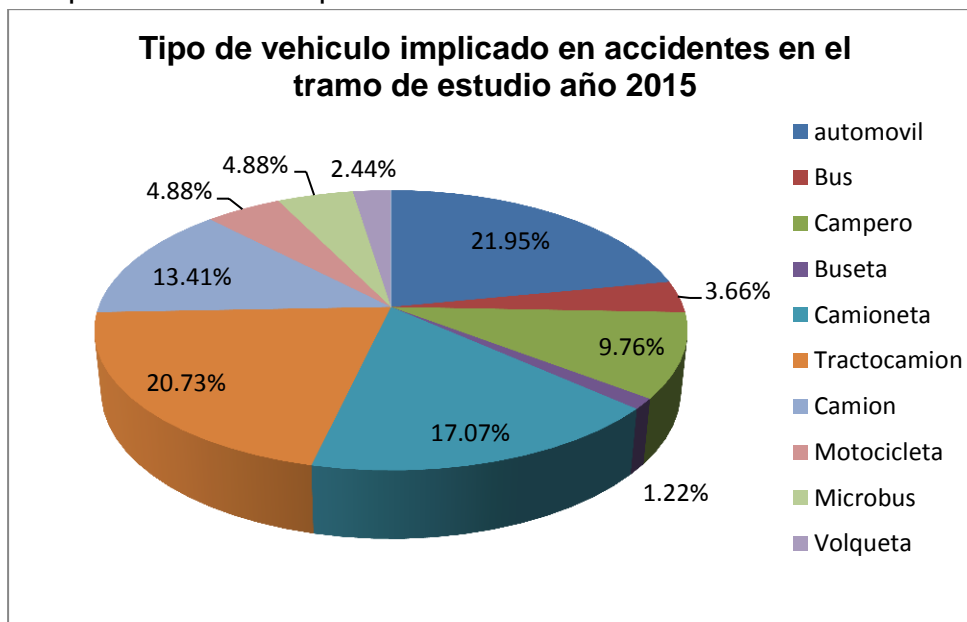
En la figura 32 se muestra que para el año 2014 en el tramo de estudio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el automóvil con un 26,47% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en un 4,41% a los accidentes con tracto camiones, en un 5,88% a los accidentes con camionetas y en un 14,71% a los accidentes con camiones.

Figura 32. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2014.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Tipo de vehículo implicado en accidentes en el tramo de estudio año 2015.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se muestra que para el año 2015 en el tramo de estudio el tipo de vehículo que estuvo involucrado en un mayor número de accidentes fue el automóvil con un 21,95% del total de los accidentes presentados ese año. Este tipo de vehículo supero en un 1,22% a los accidentes con tracto camiones, en un 4,88% a los accidentes con camionetas y en un 8,54% a los accidentes con camiones.

7.1.2.5. Sectores críticos en el tramo de estudio

Tabla 26. Sectores críticos en el tramo de estudio.

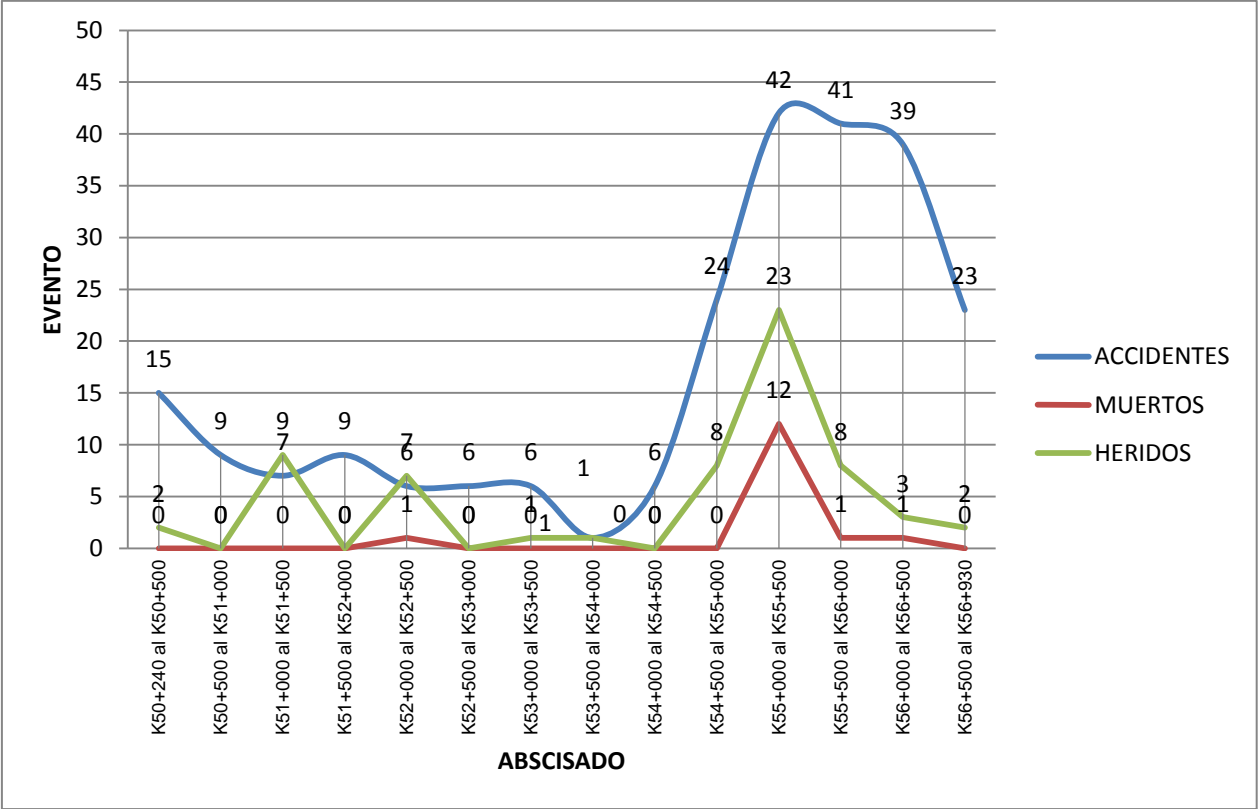
KILOMETRO	AÑO	ACCIDENTES	CONSECUENCIA	
			Muertos	Heridos
K50+240 al K50+500	2013	5	0	2
	2014	5	0	0
	2015	5	0	0
	TOTAL	15	0	2
K50+500 al K51+000	2013	3	0	0
	2014	4	0	0
	2015	2	0	0
	TOTAL	9	0	0
K51+000 al K51+500	2013	1	0	0
	2014	4	0	7
	2015	2	0	2
	TOTAL	7	0	9
K51+500 al K52+000	2013	3	0	0
	2014	2	0	0
	2015	4	0	0
	TOTAL	9	0	0
K52+000 al K52+500	2013	3	0	4
	2014	1	1	1
	2015	2	0	2
	TOTAL	6	1	7
K52+500 al K53+000	2013	2	0	0
	2014	3	0	0
	2015	1	0	0
	TOTAL	6	0	0
K53+000 al K53+500	2013	2	0	1
	2014	0	0	0
	2015	4	0	0
	TOTAL	6	0	1
K53+500 al K54+000	2013	1	0	1
	2014	0	0	0
	2015	0	0	0
	TOTAL	1	0	1
K54+000 al K54+500	2013	3	0	0
	2014	2	0	0
	2015	1	0	0
	TOTAL	6	0	0
K54+500 al K55+000	2013	15	0	6
	2014	5	0	1
	2015	4	0	1
	TOTAL	24	0	8
K55+000 al K55+500	2013	20	0	6
	2014	10	1	2
	2015	12	11	15
	TOTAL	42	12	23
K55+500 al K56+000	2013	13	1	3
	2014	11	0	1
	2015	17	0	4
	TOTAL	41	1	8
K56+000 al K56+500	2013	6	1	1
	2014	13	0	0
	2015	20	0	2
	TOTAL	39	1	3
K56+500 al K56+930	2013	8	0	0
	2014	10	0	1
	2015	5	0	1
	TOTAL	23	0	2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se aprecia el número de accidentes presentados por sectores en los años 2013, 2014 y 2015 en el tramo de estudio indicando el número de muertos y heridos. El sector más crítico del tramo es desde el P.R. K55 + 000 al P.R. K55 + 500 en donde se presenta el mayor número de accidentes con 42 eventos, así mismo, el mayor número de muertos con 12 y heridos con 23.

Vale resaltar que los sectores que le siguen al punto crítico también son zonas de alta accidentalidad como lo es el sector desde el P.R. K55 + 500 hasta el P.R. K 56 + 000 en donde se presentaron 41 accidentes con 1 muerto y 8 heridos y el sector desde el P.R. K 56 + 000 hasta el P.R. K56 + 500 en donde se presentaron 39 accidentes con 1 muerto y 3 heridos. Los puntos anteriormente descritos cuentan con altas pendientes y varias curvas debido a la topografía las cuales se analizan más adelante.

Figura 34. Número de accidentes, muertos y heridos del año 2013 al 2015 en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se identifica el número de accidentes, muertos y heridos en los últimos tres años en el tramo de estudio. Se aprecia que de los 234 accidentes que se presentaron en el tramo el 17,95% corresponden al punto crítico, el 17,52%

corresponden al P.R. K55 + 500 hasta el P.R. K56 + 000 y el 16,67% corresponden al P.R. K56 + 000 hasta el P.R. K56 + 500. Es decir que del 100% de los accidentes del tramo en estudio el 52,14 corresponden a estos tres puntos.

Se aprecia que de los 64 heridos que hubo en el tramo el 35,94% corresponden al punto crítico, el 12,50% corresponden al P.R. K55 + 500 hasta el P.R. K56 + 000 y el 4,69% corresponden al P.R. K56 + 000 hasta el P.R. K56 + 500. Es decir que del 100% de los heridos que hubo en el tramo de estudio el 53,13% corresponden a estos tres puntos.

Se aprecia que de los 15 muertos que hubo en el tramo, el 80,00% corresponden al punto crítico y el 13,33% corresponden al P.R. K55 + 500 hasta el P.R. K56 + 500. Es decir que del 100% de los muertos que hubo en el tramo de estudio el 93,33% corresponden a estos tres puntos. Lo que indica que este es el punto de mayor mortalidad del proyecto.

7.1.2.6. Incidencia doble calzada

La doble calzada Bogotá – Villavicencio entro en operación el día 5 de junio del 2015. A continuación se muestran los accidentes, muertos y heridos en los años 2013, 2014 y 2015 y la incidencia que tuvo en los últimos 7 meses del año 2015 la puesta en funcionamiento de la vía.

Tabla 27. Sectores críticos en el tramo de estudio.

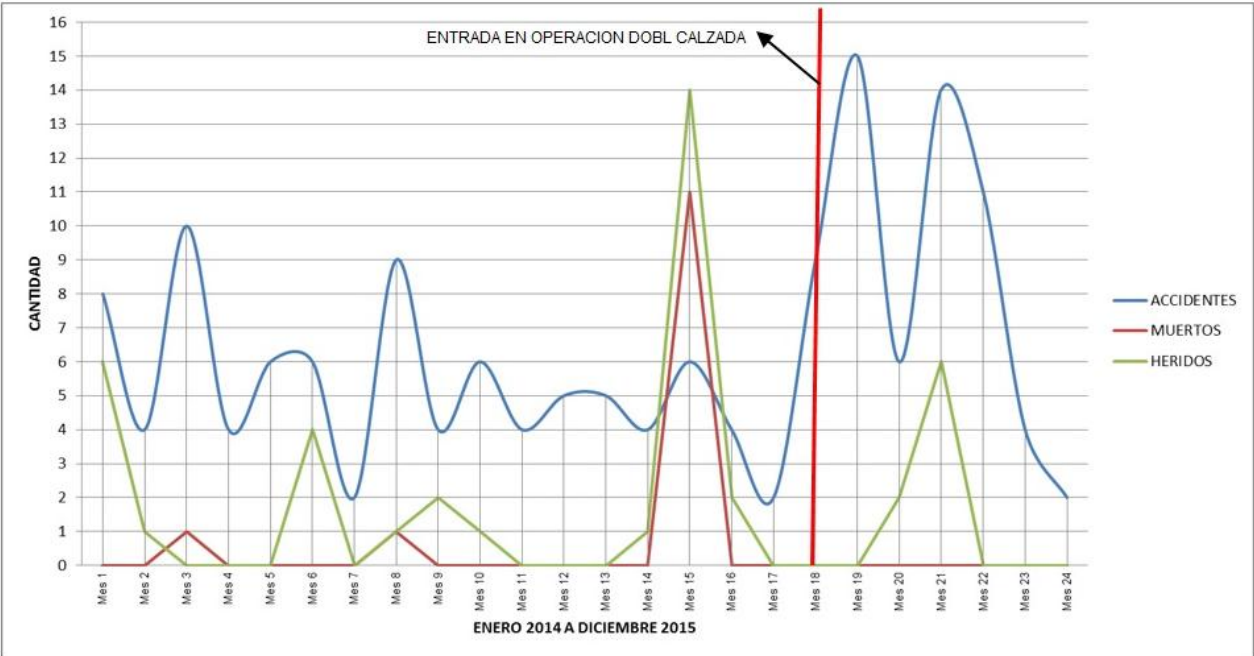
Mes	ACCIDENTES Y CONSECUENCIAS											
	2013			2014			2015			2015		
	Sin doble Calzada		Accidentes	Sin doble Calzada		Accidentes	Sin doble Calzada		Accidentes	Con doble calzada		Accidentes
Muertos	Heridos	Muertos		Heridos	Muertos		Heridos	Muertos		Heridos		
Enero	0	0	7	0	6	8	0	0	5			
Febrero	0	0	4	0	1	4	0	1	4			
Marzo	0	0	5	1	0	10	11	14	6			
Abril	0	2	7	0	0	4	0	2	4			
Mayo	0	1	5	0	0	6	0	0	2			
Junio 1 al 4	0	0	2	0	0	2	0	0	1			
SUBTOTAL	0	3	30	1	7	34	11	17	22			
Junio 5 al 30	0	2	6	0	4	4				0	0	8
Julio	0	0	6	0	0	2				0	0	15
Agosto	1	6	7	1	1	9				0	2	6
Septiembre	0	1	8	0	2	4				0	6	14
Octubre	0	3	7	0	1	6				0	0	11
Noviembre	0	3	9	0	0	4				0	0	4
Diciembre	1	6	11	0	0	5				0	0	2
SUBTOTAL	2	21	54	1	8	34	0	0	0	0	8	60
TOTAL	2	24	84	2	15	68	11	17	22	0	8	60

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27 se muestra que la puesta en operación de la doble calzada ha influido en que se presente un mayor número de accidentes tomando como referencia el mismo periodo de tiempo en los años anteriores (2013 y 2014). En el 2015 se presentaron 60 accidentes mientras que para la misma época en el año 2013 se presentaron 54 y para el 2014 se presentaron 34. Por otro lado, el número de heridos en el mismo periodo de tiempo con respecto al año 2014 se ha mantenido igual ya que se presentaron 8 en los dos años y con respecto al año 2013 disminuyó ya que en ese año se presentaron 21. Por último, en cuanto a muertos se redujo ya que en el año 2013 se presentaron 2 casos, en el año 2014 se presentó 1 caso y para el 2015 ningún caso de muertes.

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que la entrada en operación de la doble calzada ha aumentado el número de accidentes pero sin eventos fatales los cuales se han reducido. Esto se puede deber a que por la implementación de la doble calzada los usuarios no estaban habituados al nuevo sentido de la vía y por este caso se presentaron accidentes en su mayoría choques simples.

Figura 35. Puesta en operación de la doble calzada.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se muestra el aumento de los accidentes con la puesta en operación de la doble calzada. Con respecto al mes 3 hubo un aumento del 50%, pero así mismo, los casos fatales disminuyeron a 0.

7.2. INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD

A continuación se identifican cada uno de los índices de accidentalidad en el tramo de estudio que ayudaran a visualizar cuan peligroso es el sector.

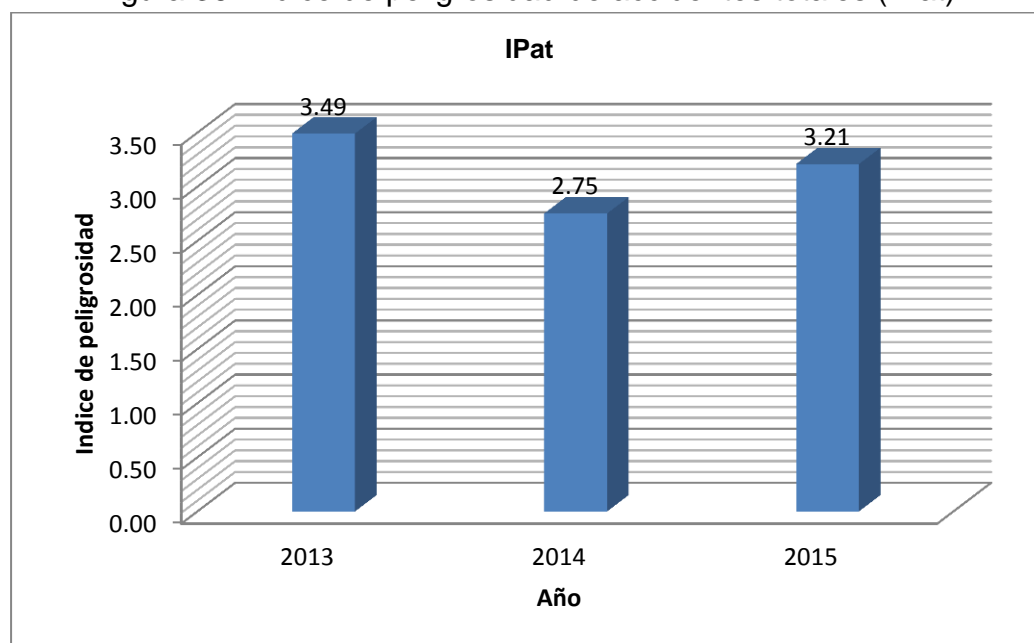
7.2.1. Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat)

Tabla 28. Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat).

INDICE DE PELIGROSIDAD DE ACCIDENTES TOTALES					
AÑO	Nº DE ACCIDENTES (N)	TPD (VEH/DIA)	LONGITUD (KM)	IPat	Limite IPat
2013	84	9852	6.69	3.49	1.50
2014	68	10115	6.69	2.75	1.50
2015	82	10464	6.69	3.21	1.50

Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Índice de peligrosidad de accidentes totales (IPat).



Fuente: Elaboración propia

Para el tramo de estudio se evidencia que los índices de peligrosidad en accidentes totales (Ipat) son bastantes altos en los años 2013, 2014 y 2015 siendo el índice del año 2014 el menor. El índice del año 2014 disminuyo en un 21,20% en relación con el índice del 2013 y el índice del año 2015 aumento en un 16,73% en relación con el año 2014. Esto se debe en primera medida a que este tramo de la vía como se indicó antes es el

que presenta el mayor número de accidentes en todo el trayecto, por otra parte, como se indicó en el análisis de la implementación de la doble calzada hubo un incremento notorio de accidentes en el P.R. K55 + 000 al P.R. K55 + 500 cuando esta empezó a operar.

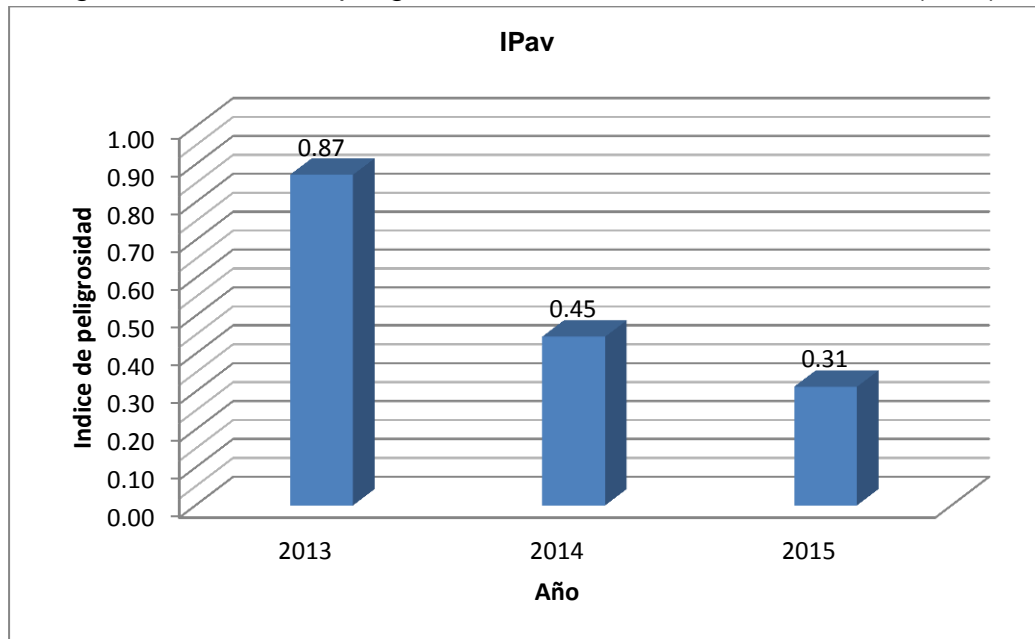
7.2.2. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav)

Tabla 29. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav).

INDICE DE PELIGROSIDAD DE ACCIDENTES CON VICTIMAS					
AÑO	Nº DE ACCIDENTES CON VICTIMAS (Nv)	TPD (VEH/DIA)	LONGITUD (KM)	IPav	Limite IPav
2013	21	9852	6.69	0.87	1.00
2014	11	10115	6.69	0.45	1.00
2015	8	10464	6.69	0.31	1.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (IPav).



Fuente: Elaboración propia

Para el tramo de estudio se evidencia que los índices con víctimas (IPav) están por debajo del límite. El índice del año 2014 disminuyó en un 48,28% en relación con el índice del 2013 y el índice del año 2015 disminuyó en un 31,11% en relación con el del año 2014. Esto se debe a que en este sector los accidentes no son tan mortales como ocurre en otra parte de la vía, así mismo, el tipo de accidentes que se presentan es por choque simple minimizando el riesgo.

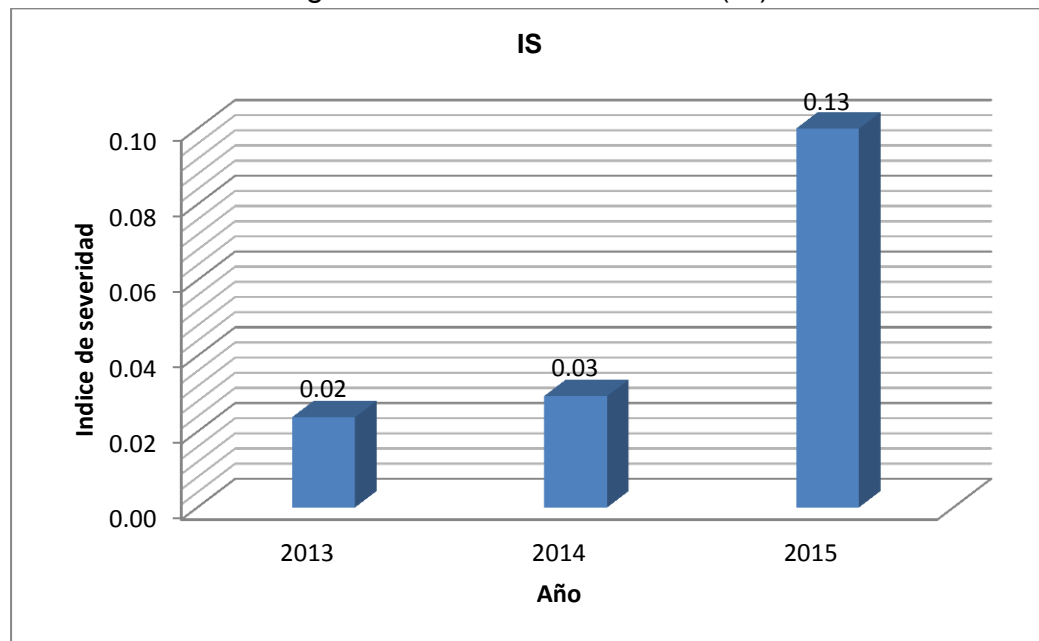
7.2.3. Índice de severidad (IS)

Tabla 30. Índice de severidad (IS).

INDICE DE SEVERIDAD				
AÑO	Nº DE MUERTOS	Nº DE ACCIDENTES	IS	Limite IS
2013	2	84	0.02	1.00
2014	2	68	0.03	1.00
2015	11	82	0.13	1.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Índice de severidad (IS).



Fuente: Elaboración propia

El índice de severidad tiene en cuenta la relación del número de personas muertas con el número de accidentes en el mismo periodo de tiempo y el mismo lugar. Para el lugar de estudio se muestra que los índices de severidad son bajos indicando que a pesar de que se presentan alto número de accidentes el número de personas muertas es reducido. El índice de severidad creció en el año 2014 un 50% en relación con el año 2013 y en el año 2015 un 333,33% en relación con el año 2014. A pesar de que estos porcentajes de crecimiento son altos los índices son muy bajos.

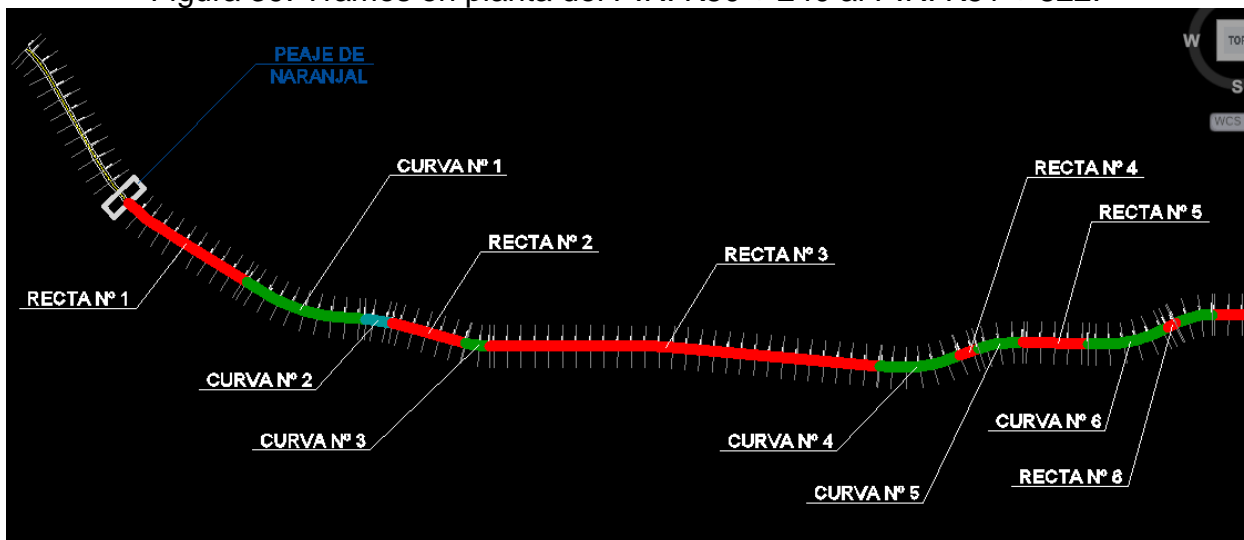
8. ANÁLISIS GEOMÉTRICO EN EL TRAMO DE ESTUDIO

Se identificó que la vía Bogotá – Villavicencio presenta en algunos puntos gran cantidad de accidentes con consecuencias mortales para los usuarios que por allí transitan. Causas como el factor asociado al diseño geométrico son de gran importancia para que la vía funcione correctamente. En el presente capítulo se hace una descripción detallada del estado actual de la infraestructura en el tramo comprendido desde el Peaje de Naranjal hasta la intersección Tequendama. Debido a que los dos sentidos de la doble calzada no están construidos paralelamente los puntos de referencia en la intersección Tequendama cambian. El sentido hacia Villavicencio (P.R. de inicio K50 + 240 y P.R. final K56 + 930) tiene una longitud de 6690 metros y el sentido hacia Bogotá (P.R. de inicio K56 + 200 y P.R. final K50+240) tiene una longitud de 5960 metros. A continuación se hace la descripción en el sentido Bogotá – Villavicencio.

8.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EN EL TRAMO BOGOTÁ - VILLAVICENCIO

Para efectos de tener una mejor comprensión del estado del tramo de estudio se descompuso la vía en rectas y curvas en todo el trayecto las cuales se identifican a continuación.

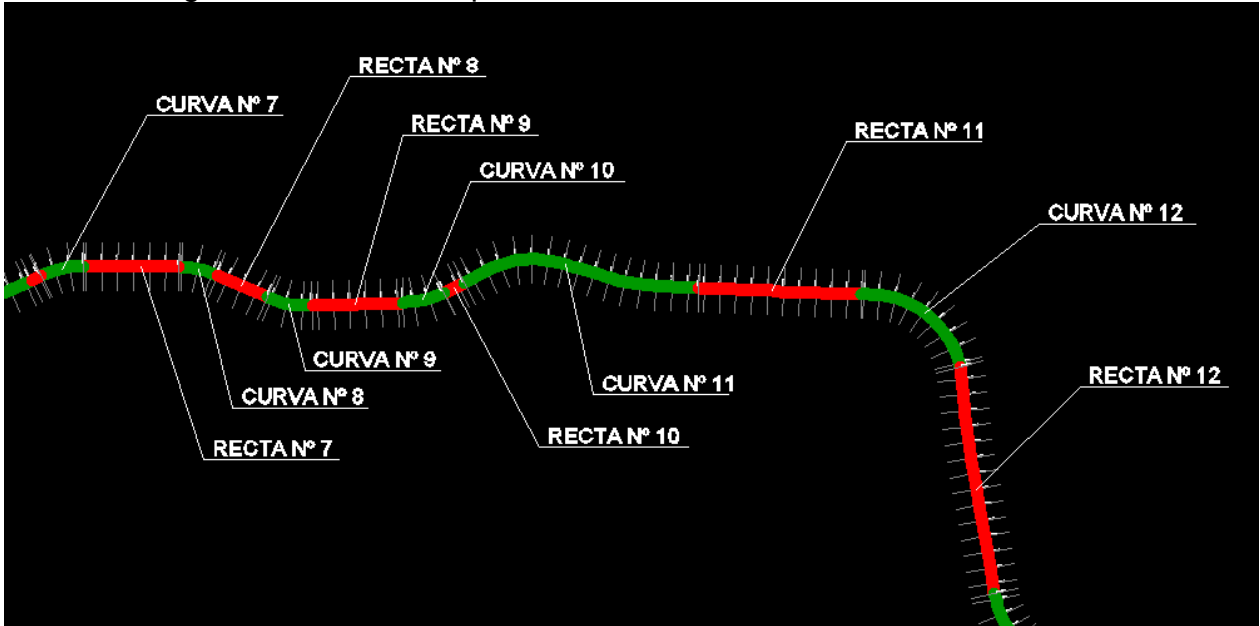
Figura 39. Tramos en planta del P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 822.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se identifican 6 rectas y 6 curvas las cuales van desde el P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 822.

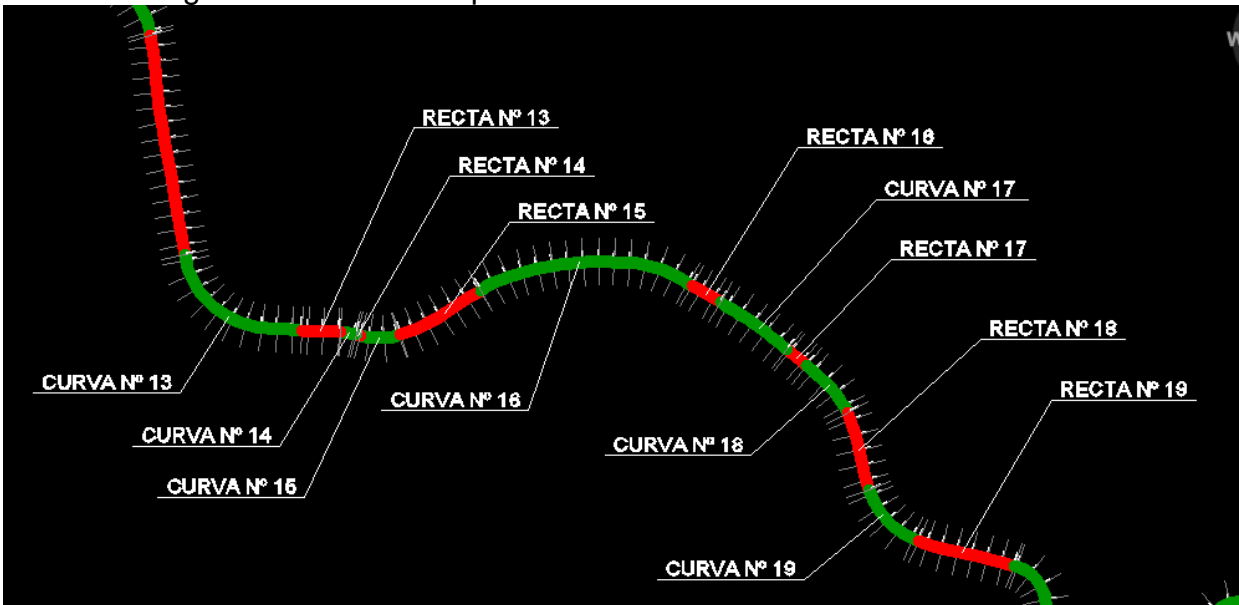
Figura 40. Tramos en planta del P.R. K51 + 822 al P.R. K53 + 332.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 40 se identifican 6 rectas y 6 curvas las cuales van desde el P.R. K51 + 822 al P.R. K53 + 332.

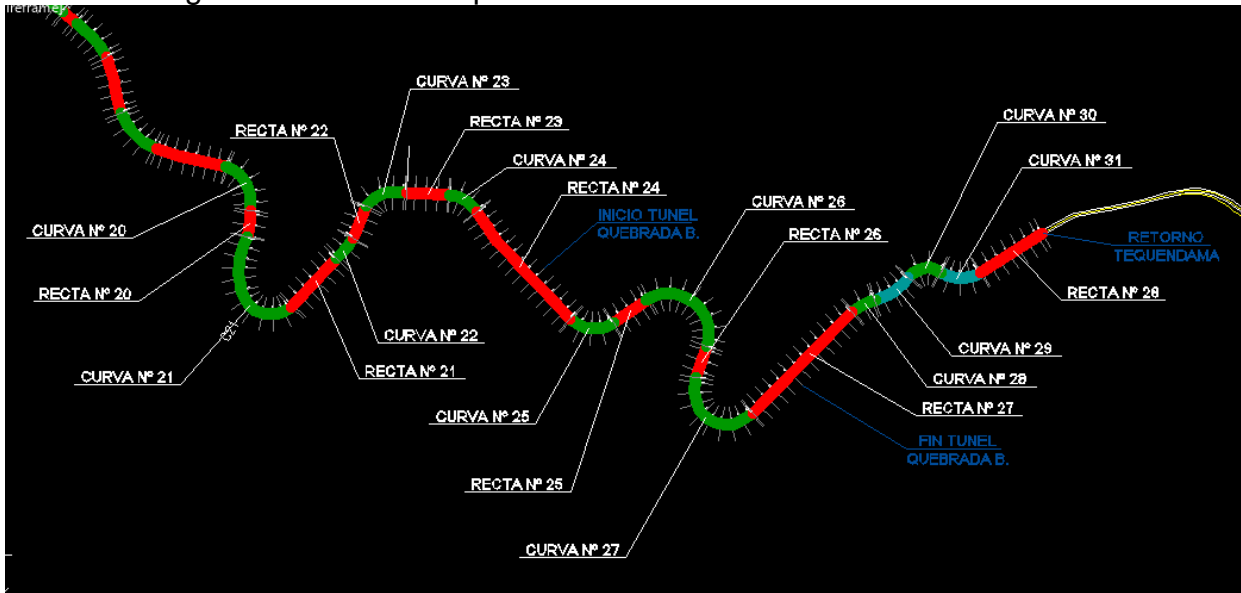
Figura 41. Tramos en planta del P.R. K53 + 332 al P.R. K54 + 656.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se identifican 7 rectas y 7 curvas las cuales van desde el P.R. K53 + 332 al P.R. K54 + 656.

Figura 42. Tramos en planta del P.R. K54 + 656 al P.R. K56 + 930.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se identifican 9 rectas y 12 curvas las cuales van desde el P.R. K54 + 656 al P.R. K56 + 930.

8.1.1. Descomposición por Tramos Bogotá - Villavicencio

Tabla 31. Descomposición por tramos PR de inicio K50+240 al PR final K56+930.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) DESCOMPOSICIÓN POR TRAMOS				
DESCRIPCIÓN	P.R. INICIO	P.R. FINAL	DISTANCIA (m)	Nº DE CARRILES
Recta Nº 1	K50 + 240	K50 + 447	207	2
Curva Nº 1	K50 + 447	K50 + 629	182	2
Curva Nº 2	K50 + 629	K50 + 669	40	2
Recta Nº 2	K50 + 669	K50 + 778	109	2
Curva Nº 3	K50 + 778	K50 + 815	37	2
Recta Nº 3	K50 + 815	K51 + 381	566	2
Curva Nº 4	K51 + 381	K51 + 501	120	2
Recta Nº 4	K51 + 501	K51 + 529	28	2
Curva Nº 5	K51 + 529	K51 + 595	66	2
Recta Nº 5	K51 + 595	K51 + 689	94	2
Curva Nº 6	K51 + 689	K51 + 809	120	2
Recta Nº 6	K51 + 809	K51 + 822	13	2
Curva Nº 7	K51 + 822	K51 + 877	55	2

Recta Nº 7	K51 + 877	K51 + 997	120	2
Curva Nº 8	K51 + 997	K52 + 046	49	2
Recta Nº 8	K52 + 046	K52 + 114	68	2
Curva Nº 9	K52 + 114	K52 + 173	59	2
Recta Nº 9	K52 + 173	K52 + 287	114	2
Curva Nº 10	K52 + 287	K52 + 339	52	2
Recta Nº 10	K52 + 339	K52 + 368	29	2
Curva Nº 11	K52 + 368	K52 + 673	305	2
Recta Nº 11	K52 + 673	K52 + 878	205	2
Curva Nº 12	K52 + 878	K53 + 045	167	2
Recta Nº 12	K53 + 045	K53 + 332	287	2
Curva Nº 13	K53 + 332	K53 + 532	200	2
Recta Nº 13	K53 + 532	K53 + 582	50	2
Curva Nº 14	K53 + 582	K53 + 603	21	2
Recta Nº 14	K53 + 603	K53 + 609	6	2
Curva Nº 15	K53 + 609	K53 + 661	52	2
Recta Nº 15	K53 + 661	K53 + 780	119	2
Curva Nº 16	K53 + 780	K54 + 066	286	2
Recta Nº 16	K54 + 066	K54 + 109	43	2
Curva Nº 17	K54 + 109	K54 + 215	106	2
Recta Nº 17	K54 + 215	K54 + 248	33	2
Curva Nº 18	K54 + 248	K54 + 330	82	2
Recta Nº 18	K54 + 330	K54 + 433	103	2
Curva Nº 19	K54 + 433	K54 + 528	95	2
Recta Nº 19	K54 + 528	K54 + 656	128	2
Curva Nº 20	K54 + 656	K54 + 754	98	2
Recta Nº 20	K54 + 754	K54 + 801	47	3
Curva Nº 21	K54 + 801	K55 + 015	214	3
Recta Nº 21	K55 + 015	K55 + 133	118	3
Curva Nº 22	K55 + 133	K55 + 182	49	3
Recta Nº 22	K55 + 182	K55 + 244	62	3
Curva Nº 23	K55 + 244	K55 + 324	80	3
Recta Nº 23	K55 + 324	K55 + 401	77	3
Curva Nº 24	K55 + 401	K55 + 461	60	3
Recta Nº 24	K55 + 461	K55 + 717	256	3
Curva Nº 25	K55 + 717	K55 + 802	85	2
Recta Nº 25	K55 + 802	K55 + 874	72	2
Curva Nº 26	K55 + 874	K56 + 053	179	2
Recta Nº 26	K56 + 053	K56 + 112	59	2
Curva Nº 27	K56 + 112	K56 + 283	171	2
Recta Nº 27	K56 + 283	K56 + 537	254	2
Curva Nº 28	K56 + 537	K56 + 584	47	2
Curva Nº 29	K56 + 584	K56 + 658	74	2
Curva Nº 30	K56 + 658	K56 + 723	65	2
Curva Nº 31	K56 + 723	K56 + 797	74	2
Recta Nº 28	K56 + 797	K56 + 930	133	2
TOTAL			6690	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31 se muestra la descomposición que se hace de los 6,69 km de doble calzada a Villavicencio, para el análisis se obtuvieron 28 rectas y 31 curvas. Además, se evidencia que la vía cuenta con 3 carriles desde la recta N° 20 hasta la recta N° 24.

8.1.2. Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio

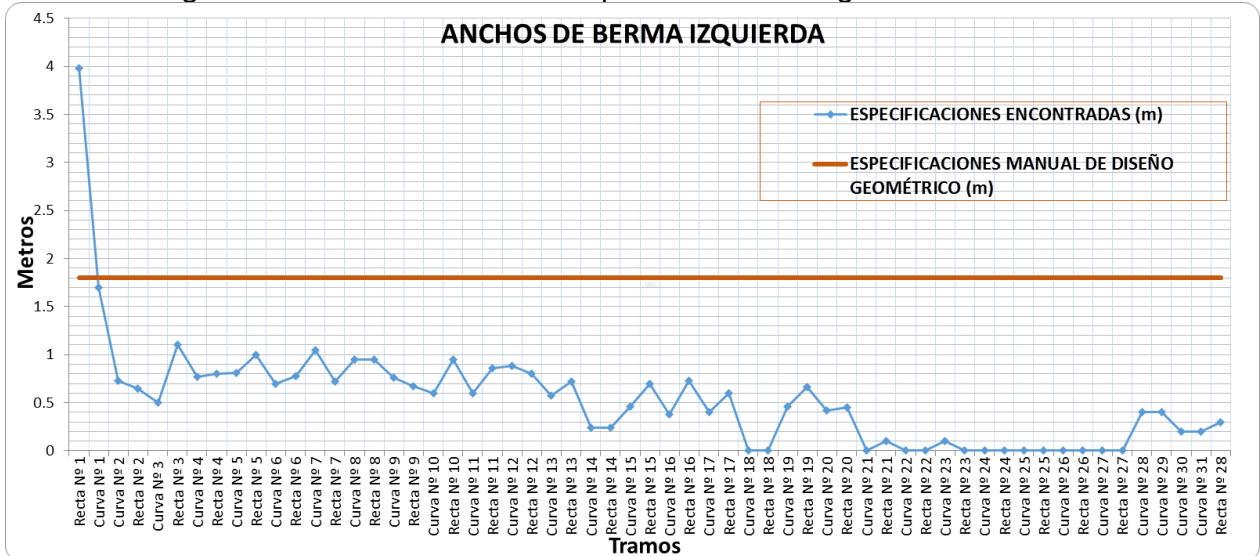
Tabla 32. Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) ANCHOS DE BERMA IZQUIERDA				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta N° 1	3.98	1.8	SI CUMPLE	
Curva N° 1	1.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 2	0.73	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 2	0.65	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 3	0.5	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 3	1.1	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 4	0.77	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 4	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 5	0.81	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 5	1	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 6	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 6	0.78	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 7	1.05	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 7	0.72	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 8	0.95	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 8	0.95	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 9	0.76	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 9	0.67	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 10	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 10	0.95	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 11	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 11	0.86	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 12	0.88	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 12	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 13	0.57	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 13	0.72	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 14	0.24	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 14	0.24	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 15	0.46	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 15	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 16	0.38	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 16	0.73	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 17	0.4	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 17	0.6	1.8	NO CUMPLE	

Curva N° 18	-	1.8	NO CUMPLE	BAHIA
Recta N° 18	-	1.8	NO CUMPLE	BAHIA
Curva N° 19	0.46	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 19	0.66	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 20	0.42	1.8	NO CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Recta N° 20	0.45	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva N° 21	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 21	0.1	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva N° 22	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 22	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva N° 23	0.1	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 23	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva N° 24	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	DE 3 A 2 CARRILES
Recta N° 24	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva N° 25	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 25	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva N° 26	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 26	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva N° 27	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 27	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva N° 28	0.4	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 29	0.4	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 30	0.2	1.8	NO CUMPLE	
Curva N° 31	0.2	1.8	NO CUMPLE	
Recta N° 28	0.3	1.8	NO CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Anchos de berma izquierda tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se puede observar que de los 59 elementos que se evaluaron, 58 no cumplen con el ancho de berma mínimo especificado por el manual de diseño geométrico y solo 1 cumple, esto equivale al 1,70%, un porcentaje muy bajo para anchos de berma que pueden ser causantes de accidentes, si a esto se le suman factores adicionales como topografía quebrada y altas velocidades se convierte en un elemento a tener en cuenta en los numerosos siniestros que se han presentado en la vía.

8.1.3. Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio

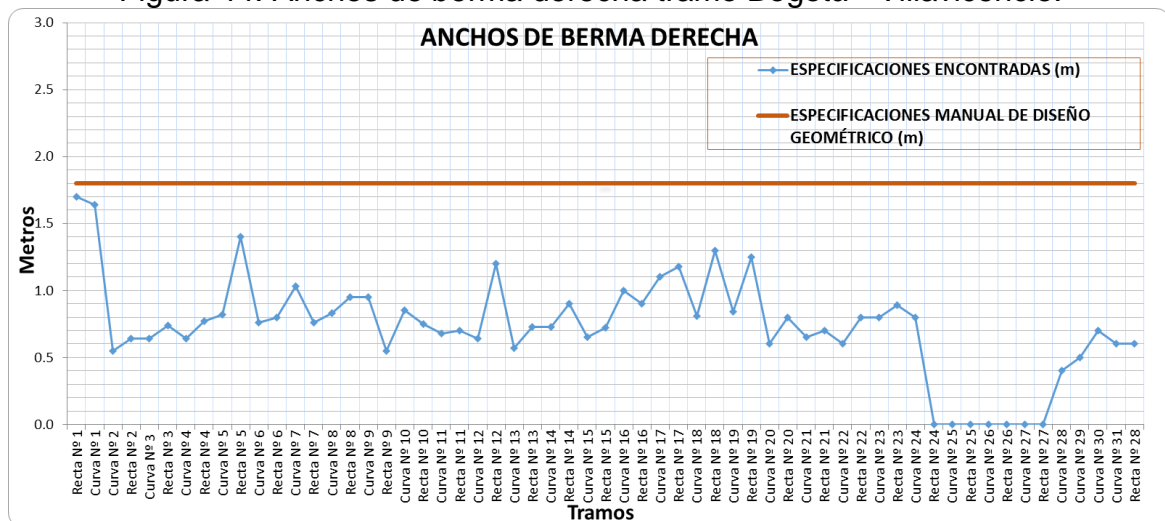
Tabla 33. Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) ANCHOS DE BERMA DERECHA				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta Nº 1	1.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 1	1.6	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 2	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 2	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 3	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 3	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 4	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 4	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 5	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 5	1.4	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 6	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 6	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 7	1.0	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 7	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 8	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 8	1.0	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 9	1.0	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 9	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 10	0.9	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 10	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 11	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 11	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 12	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 12	1.2	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 13	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 13	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 14	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 14	0.9	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 15	0.7	1.8	NO CUMPLE	

Recta Nº 15	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 16	1.0	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 16	0.9	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 17	1.1	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 17	1.2	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 18	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 18	1.3	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 19	0.8	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 19	1.3	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 20	0.6	1.8	NO CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Recta Nº 20	0.8	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 21	0.7	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 21	0.7	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 22	0.6	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 22	0.8	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 23	0.8	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 23	0.9	1.8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 24	0.8	1.8	NO CUMPLE	DE 3 A 2 CARRILES
Recta Nº 24	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 25	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 25	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 26	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 26	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 27	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 27	SIN BERMA	1.8	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 28	0.4	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 29	0.5	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 30	0.7	1.8	NO CUMPLE	
Curva Nº 31	0.6	1.8	NO CUMPLE	
Recta Nº 28	0.6	1.8	NO CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Anchos de berma derecha tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se puede observar que de los 59 elementos que se evaluaron, ninguno cumple con el ancho de berma mínimo especificado por el manual de diseño geométrico que debe tener una doble calzada. Por el contrario se evidencia que algunas bermas cuentan con tan solo 40 centímetros que no les da la posibilidad a los conductores de maniobrar o parar. Es evidente que las bermas tengan el ancho anteriormente descrito ya que esta vía fue construida con otras especificaciones y no para que cumpliera la función de doble calzada.

8.1.4. Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio

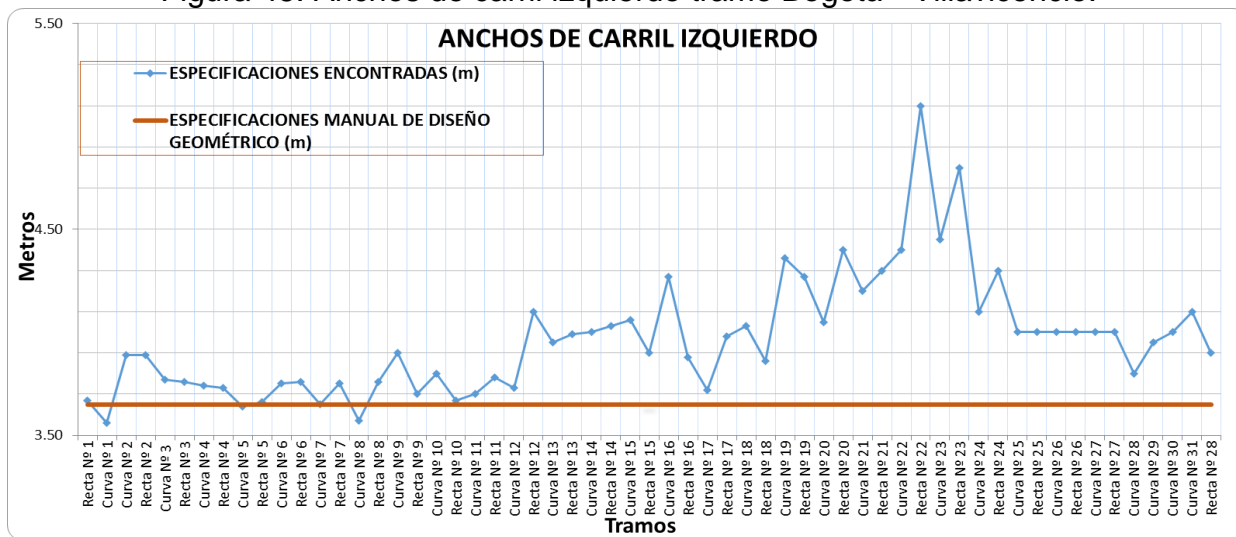
Tabla 34. Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) ANCHOS DE CARRIL IZQUIERDO				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta Nº 1	3.67	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 1	3.56	3.65	NO CUMPLE	
Curva Nº 2	3.89	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 2	3.89	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 3	3.77	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 3	3.76	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 4	3.74	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 4	3.73	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 5	3.64	3.65	NO CUMPLE	
Recta Nº 5	3.66	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 6	3.75	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 6	3.76	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 7	3.65	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 7	3.75	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 8	3.57	3.65	NO CUMPLE	
Recta Nº 8	3.76	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 9	3.90	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 9	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 10	3.80	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 10	3.67	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 11	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 11	3.78	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 12	3.73	3.65	SI CUMPLE	

Recta Nº 12	4.10	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 13	3.95	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 13	3.99	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 14	4.00	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 14	4.03	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 15	4.06	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 15	3.90	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 16	4.27	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 16	3.88	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 17	3.72	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 17	3.98	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 18	4.03	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 18	3.86	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 19	4.36	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 19	4.27	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 20	4.05	3.65	SI CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Recta Nº 20	4.40	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 21	4.20	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 21	4.30	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 22	4.40	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 22	5.10	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 23	4.45	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 23	4.80	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 24	4.10	3.65	SI CUMPLE	DE 3 A 2 CARRILES
Recta Nº 24	4.30	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 25	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 25	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 26	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 26	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 27	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 27	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 28	3.80	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 29	3.95	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 30	4.00	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 31	4.10	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 28	3.90	3.65	SI CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Anchos de carril izquierdo tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

La evaluación que se hace del ancho de carril izquierdo de la vía con las especificaciones del manual geométrico de carreteras arrojó que 56 de los 59 elementos analizados cumplen con las dimensiones de la normatividad, esto equivale al 94.92% del total de los componentes examinados. Estas medidas son indispensables para una vía primaria de doble calzada. También se observa que los puntos donde el ancho de carril izquierdo no cumple son en la curva Nº 1, curva Nº 5 y curva Nº 8.

8.1.5. Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio

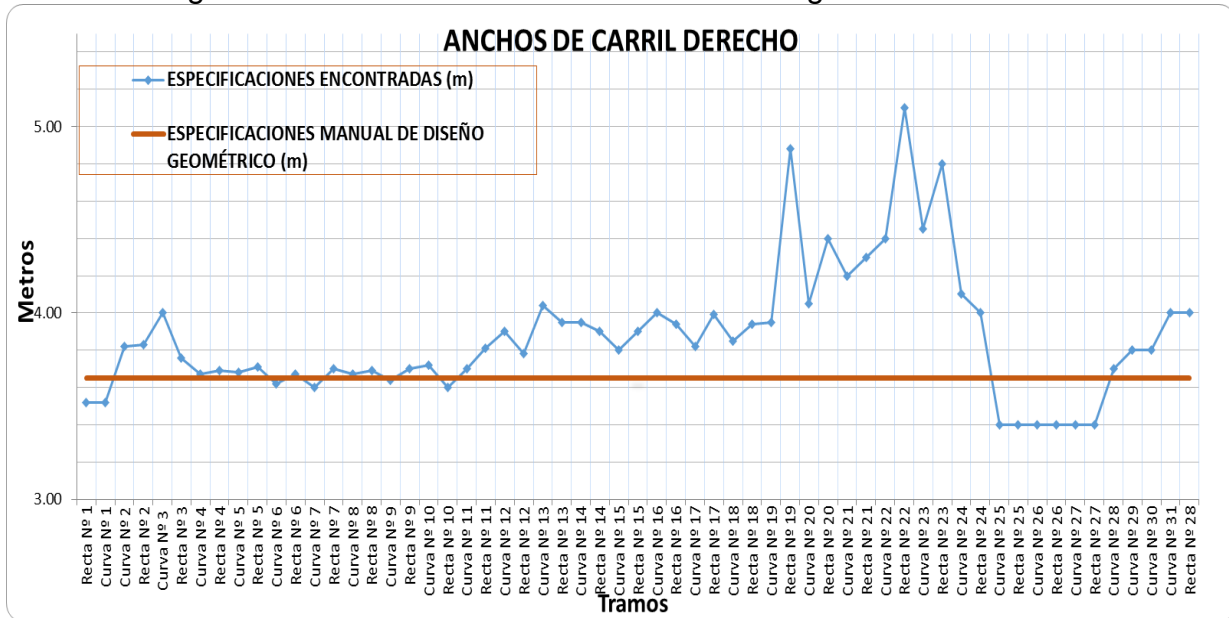
Tabla 35. Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) ANCHOS DE CARRIL DERECHO				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta Nº 1	3.52	3.65	NO CUMPLE	
Curva Nº 1	3.52	3.65	NO CUMPLE	
Curva Nº 2	3.82	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 2	3.83	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 3	4.00	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 3	3.76	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 4	3.67	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 4	3.69	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 5	3.68	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 5	3.71	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 6	3.62	3.65	NO CUMPLE	

Recta Nº 6	3.67	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 7	3.60	3.65	NO CUMPLE	
Recta Nº 7	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 8	3.67	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 8	3.69	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 9	3.64	3.65	NO CUMPLE	
Recta Nº 9	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 10	3.72	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 10	3.60	3.65	NO CUMPLE	
Curva Nº 11	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 11	3.81	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 12	3.90	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 12	3.78	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 13	4.04	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 13	3.95	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 14	3.95	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 14	3.90	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 15	3.80	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 15	3.90	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 16	4.00	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 16	3.94	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 17	3.82	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 17	3.99	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 18	3.85	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 18	3.94	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 19	3.95	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 19	4.88	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 20	4.05	3.65	SI CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Recta Nº 20	4.40	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 21	4.20	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 21	4.30	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 22	4.40	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 22	5.10	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 23	4.45	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 23	4.80	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 24	4.10	3.65	SI CUMPLE	DE 3 A 2 CARRILES
Recta Nº 24	4.00	3.65	SI CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 25	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 25	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 26	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 26	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 27	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Recta Nº 27	3.40	3.65	NO CUMPLE	TUNEL
Curva Nº 28	3.70	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 29	3.80	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 30	3.80	3.65	SI CUMPLE	
Curva Nº 31	4.00	3.65	SI CUMPLE	
Recta Nº 28	4.00	3.65	SI CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Anchos de carril derecho tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

La evaluación que se hace del ancho de carril derecho de la vía con las especificaciones del manual geométrico de carreteras arrojó que 47 de los 59 elementos analizados cumplen con las dimensiones de la normatividad, esto equivale al 79,66% del total de los componentes examinados. Por otra parte, se observa que los puntos donde el ancho de carril izquierdo no cumple son la recta N° 1, la curva N° 1, la curva N° 6, la curva N° 7, la curva N° 9, la recta N° 10, la curva N° 25, la recta N° 25, la curva N° 26, la recta N° 26, la curva N° 27 y la recta N° 27. También se observa que son los primeros kilómetros donde no cumple el ancho de carril y en punto del túnel.

8.1.6. Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio

Tabla 36. Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio.

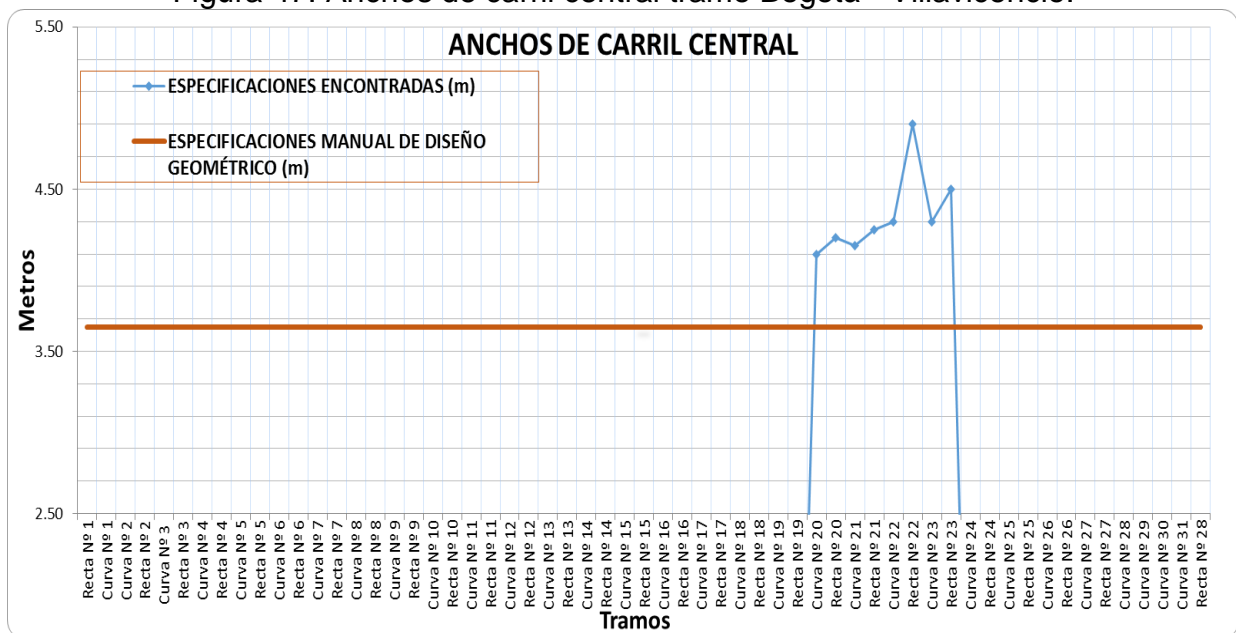
ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) ANCHOS DE CARRIL CENTRAL				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta N° 1	-	3.65	-	
Curva N° 1	-	3.65	-	
Curva N° 2	-	3.65	-	
Recta N° 2	-	3.65	-	
Curva N° 3	-	3.65	-	
Recta N° 3	-	3.65	-	

Curva Nº 4	-	3.65	-	
Recta Nº 4	-	3.65	-	
Curva Nº 5	-	3.65	-	
Recta Nº 5	-	3.65	-	
Curva Nº 6	-	3.65	-	
Recta Nº 6	-	3.65	-	
Curva Nº 7	-	3.65	-	
Recta Nº 7	-	3.65	-	
Curva Nº 8	-	3.65	-	
Recta Nº 8	-	3.65	-	
Curva Nº 9	-	3.65	-	
Recta Nº 9	-	3.65	-	
Curva Nº 10	-	3.65	-	
Recta Nº 10	-	3.65	-	
Curva Nº 11	-	3.65	-	
Recta Nº 11	-	3.65	-	
Curva Nº 12	-	3.65	-	
Recta Nº 12	-	3.65	-	
Curva Nº 13	-	3.65	-	
Recta Nº 13	-	3.65	-	
Curva Nº 14	-	3.65	-	
Recta Nº 14	-	3.65	-	
Curva Nº 15	-	3.65	-	
Recta Nº 15	-	3.65	-	
Curva Nº 16	-	3.65	-	
Recta Nº 16	-	3.65	-	
Curva Nº 17	-	3.65	-	
Recta Nº 17	-	3.65	-	
Curva Nº 18	-	3.65	-	
Recta Nº 18	-	3.65	-	
Curva Nº 19	-	3.65	-	
Recta Nº 19	-	3.65	-	
Curva Nº 20	4.10	3.65	SI CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Recta Nº 20	4.20	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 21	4.15	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 21	4.25	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 22	4.30	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 22	4.90	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 23	4.30	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Recta Nº 23	4.50	3.65	SI CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 24	-	3.65	-	DE 3 A 2 CARRILES
Recta Nº 24	-	3.65	-	TUNEL
Curva Nº 25	-	3.65	-	TUNEL
Recta Nº 25	-	3.65	-	TUNEL
Curva Nº 26	-	3.65	-	TUNEL
Recta Nº 26	-	3.65	-	TUNEL

Curva N° 27	-	3.65	-	TUNEL
Recta N° 27	-	3.65	-	TUNEL
Curva N° 28	-	3.65	-	
Curva N° 29	-	3.65	-	
Curva N° 30	-	3.65	-	
Curva N° 31	-	3.65	-	
Recta N° 28	-	3.65	-	

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Anchos de carril central tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

La figura 47 muestra que el tramo comprendido entre la curva N° 20 a la recta N° 23 tiene un carril central que de acuerdo a las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras cumple, esto equivale al 100%. Cabe resaltar que en este tramo la vía pasa de dos a tres carriles porque la carretera antigua funcionaba con dos de ellos subiendo y el otro bajando, cuando entro a operar la doble calzada los dos carriles externos se anularon con maletines de seguridad para disminuir la velocidad debido a que este punto tiene una de las mayores pendientes longitudinales del sector y el mayor índice de accidentalidad en el tramo.

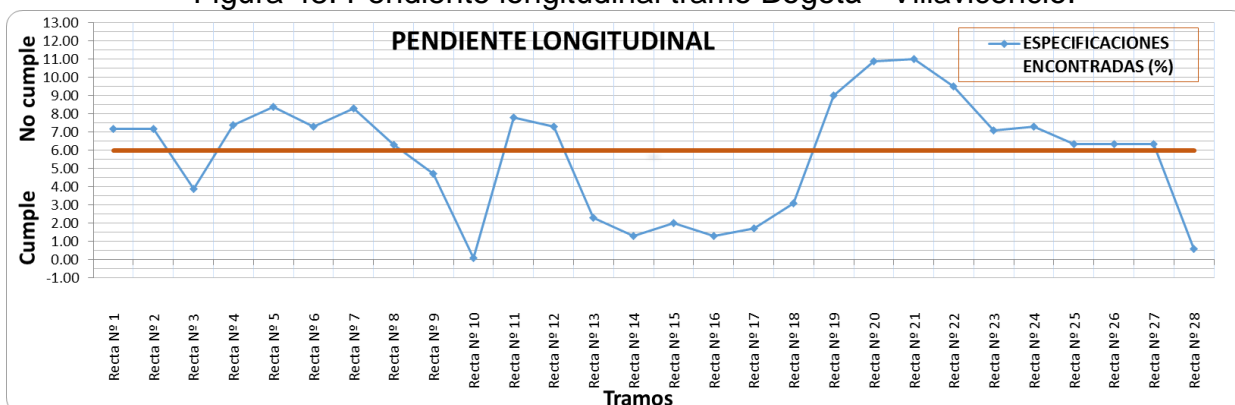
8.1.7. Pendiente longitudinal tramo Bogotá – Villavicencio

Tabla 37. Pendiente longitudinal tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) PENDIENTE LONGITUDINAL					
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)		ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO ($\leq 6\%$)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta N° 1	6.7	7.20	6	NO CUMPLE	
Recta N° 2	7.2	3.80	6	NO CUMPLE	
Recta N° 3	0.7	-3.90	6	SI CUMPLE	
Recta N° 4	-6.10	-7.40	6	NO CUMPLE	
Recta N° 5	-8.4	-3.90	6	NO CUMPLE	
Recta N° 6	-7.3	-7.20	6	NO CUMPLE	
Recta N° 7	-4.70	-8.30	6	NO CUMPLE	
Recta N° 8	-6.3	-5.30	6	NO CUMPLE	
Recta N° 9	-4.7	2.60	6	SI CUMPLE	
Recta N° 10	0.1	0.10	6	SI CUMPLE	
Recta N° 11	2.7	7.80	6	NO CUMPLE	
Recta N° 12	7.3	6.70	6	NO CUMPLE	
Recta N° 13	2.3	-0.70	6	SI CUMPLE	
Recta N° 14	-0.4	-1.30	6	SI CUMPLE	
Recta N° 15	-2	-2.00	6	SI CUMPLE	
Recta N° 16	-1.2	-1.30	6	SI CUMPLE	
Recta N° 17	-1.2	-1.70	6	SI CUMPLE	
Recta N° 18	-3.1	-3.00	6	SI CUMPLE	
Recta N° 19	-4.8	-9.00	6	NO CUMPLE	
Recta N° 20	-9.4	-10.90	6	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 21	-10.2	-11.00	6	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 22	-9.1	-9.50	6	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 23	-7	-7.10	6	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 24	-7.3	-5.40	6	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 25	Sin Reg, Aprox. 6.35		6	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 26	Sin Reg, Aprox. 6.35		6	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 27	Sin Reg, Aprox. 6.35		6	NO CUMPLE	TUNEL
Recta N° 28	-0.5	-1.10	6	SI CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Pendiente longitudinal tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

La figura 48 muestra que de las 28 rectas analizadas solo 10 cumplieron con las pendientes longitudinales máximas de acuerdo a las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras y las otras 18 no, esto equivale al 35,71% del total de pendientes analizadas. También se identifica que la parte central de la carretera es la que posee las pendientes más óptimas para que los usuarios circulen cómodamente y la parte inicial y final son los puntos donde las pendientes aumentan drásticamente siendo las rectas Nº 20 y 21 los puntos críticos del tramo de estudio con una pendiente promedio del 11% la cual genera en los vehículos un incremento de su velocidad al cual se le suman radios de curvatura pequeños.

8.1.8. Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio

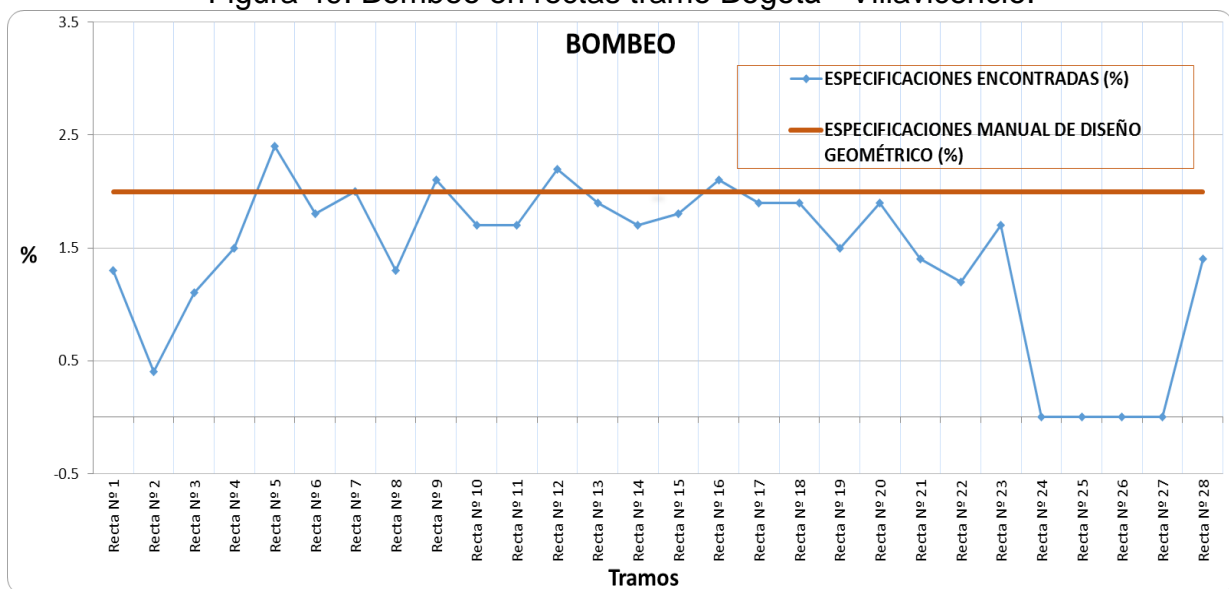
Tabla 38. Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA)				
BOMBEO EN RECTAS				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (%)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Recta Nº 1	1.3	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 2	0.4	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 3	1.1	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 4	1.5	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 5	2.4	2	SI CUMPLE	
Recta Nº 6	1.8	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 7	2.0	2	SI CUMPLE	
Recta Nº 8	1.3	2	NO CUMPLE	
Recta Nº 9	2.1	2	SI CUMPLE	
Recta Nº 10	1.7	2	NO CUMPLE	

Recta N° 11	1.7	2	NO CUMPLE	
Recta N° 12	2.2	2	SI CUMPLE	
Recta N° 13	1.9	2	NO CUMPLE	
Recta N° 14	1.7	2	NO CUMPLE	
Recta N° 15	1.8	2	NO CUMPLE	
Recta N° 16	2.1	2	SI CUMPLE	
Recta N° 17	1.9	2	NO CUMPLE	
Recta N° 18	1.9	2	NO CUMPLE	
Recta N° 19	1.5	2	NO CUMPLE	
Recta N° 20	1.9	2	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 21	1.4	2	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 22	1.2	2	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 23	1.7	2	NO CUMPLE	3 CARRILES
Recta N° 24	SIN REGISTRO	2	-	TUNEL
Recta N° 25	SIN REGISTRO	2	-	TUNEL
Recta N° 26	SIN REGISTRO	2	-	TUNEL
Recta N° 27	SIN REGISTRO	2	-	TUNEL
Recta N° 28	1.4	2	NO CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Bombeo en rectas tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

De la figura 49 se evidencia que de las 24 rectas analizadas solo 5 cumplen con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras en cuanto a bombeo para vías de este tipo, esto equivale al 20,83% del total de rectas estudiadas. Así mismo, las rectas N° 24, 25, 26 y 27 no presentan registro debido a que no se pudo hacer el levantamiento en terreno por cuestiones de seguridad. Por otro lado, se evidencia que la mayoría de los bombeos están por debajo del mínimo establecido por

el manual de carreteras y es muy probable que se presente un mal drenaje superficial de la vía o que por material particulado se presenten deslizamiento de vehículos.

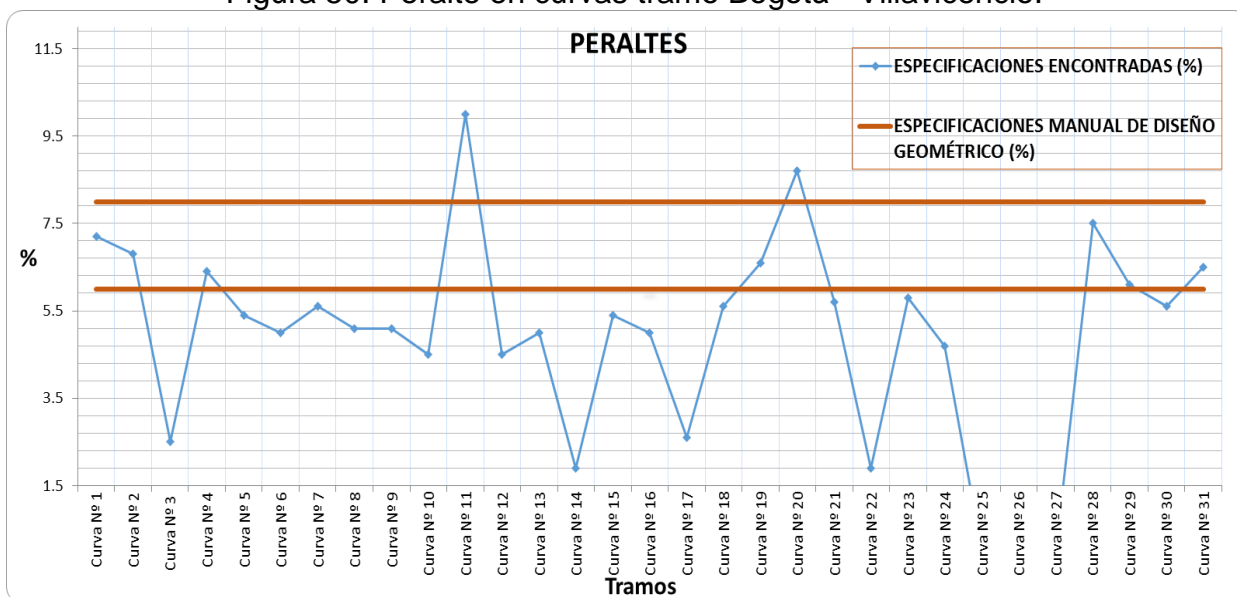
8.1.9. Peralte en curvas tramo Bogotá – Villavicencio

Tabla 39. Peralte en curvas tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA) PERALTE EN CURVAS 6% - 8%				
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (%)	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Curva Nº 1	7.2	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 2	6.8	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 3	2.5	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 4	6.4	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 5	5.4	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 6	5.0	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 7	5.6	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 8	5.1	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 9	5.1	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 10	4.5	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 11	10.0	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 12	4.5	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 13	5.0	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 14	1.9	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 15	5.4	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 16	5.0	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 17	2.6	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 18	5.6	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 19	6.6	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 20	8.7	6--8	NO CUMPLE	DE 2 A 3 CARRILES
Curva Nº 21	5.7	6--8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 22	1.9	6--8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 23	5.8	6--8	NO CUMPLE	3 CARRILES
Curva Nº 24	4.7	6--8	NO CUMPLE	DE 3 A 2 CARRILES
Curva Nº 25	SIN REGISTRO	6--8	-	TUNEL
Curva Nº 26	SIN REGISTRO	6--8	-	TUNEL
Curva Nº 27	SIN REGISTRO	6--8	-	TUNEL
Curva Nº 28	7.5	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 29	6.1	6--8	SI CUMPLE	
Curva Nº 30	5.6	6--8	NO CUMPLE	
Curva Nº 31	6.5	6--8	NO CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Peralte en curvas tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

De la figura 50 se muestra que de las 28 curvas analizadas solo 6 cumplen con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras, esto equivale al 21,43% del total de curvas estudiadas. Así mismo, las curvas N° 25, 26 y 27 no presentan registro debido a que no se pudo hacer el levantamiento en terreno por cuestiones de seguridad. Por otro lado, se evidencia que la mayoría de los peraltes están por debajo del mínimo establecido por el manual de carreteras y es probable que un vehículo a gran velocidad se pueda salir de la curva al tomarla.

8.1.10. Tipo de curvas y radio tramo Bogotá - Villavicencio

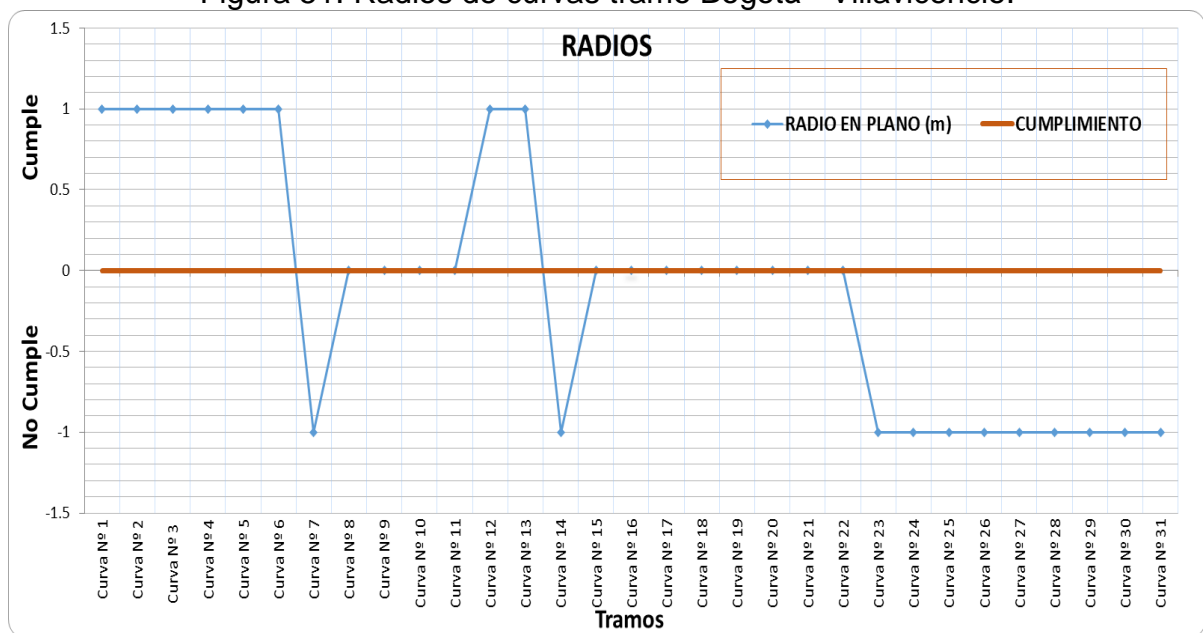
Tabla 40. Tipo de curvas y radio tramo Bogotá - Villavicencio.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (PEAJE NARANJAL - INTERSECCIÓN TEQUENDAMA)							
TIPOS DE CURVAS							
DESCRIPCIÓN	TIPO DE CURVA	RADIO EN PLANO (m)	VELOCIDADES (Km/h)	RADIOS MINIMOS (m)	CUMPLIMIENTO RADIOS MINIMOS (m)	RADIOS MAXIMOS (m)	CUMPLIMIENTO RADIO MAXIMOS (m)
Curva Nº 1	E-C-E	240	30	21	SICUMPLE	31.5	SICUMPLE
Curva Nº 2	E-C-E	168.949	50	73	SICUMPLE	109.5	SICUMPLE
Curva Nº 3	E-C-E	178.475	50	73	SICUMPLE	109.5	SICUMPLE
Curva Nº 4	E-C-E	155.338	50	73	SICUMPLE	109.5	SICUMPLE
Curva Nº 5	C-C-S	120.407	50	73	SICUMPLE	109.5	SICUMPLE
Curva Nº 6	C-C-S	120.3	50	73	SICUMPLE	109.5	SICUMPLE
Curva Nº 7	E-C-E	119.994	50	73	SICUMPLE	109.5	NO CUMPLE
Curva Nº 8	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	50	N/A	N/A	N/A	N/A
Curva Nº 9	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	50	N/A	N/A	N/A	N/A
Curva Nº 10	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	50	N/A	N/A	N/A	N/A

Curva Nº 11	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	50	N/A	N/A	N/A	N/A
Curva Nº 12	C-C-S	79.485	70	168	NO CUMPLE	252	SI CUMPLE
Curva Nº 13	C-C-S	79.994	70	168	NO CUMPLE	252	SI CUMPLE
Curva Nº 14	E-C-E	380.796	70	168	SI CUMPLE	252	NO CUMPLE
Curva Nº 15	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 16	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 17	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 18	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 19	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 20	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 21	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 22	SIN IDENTIFICAR ESP	N/A	70	168	N/A	252	N/A
Curva Nº 23	C-C-S	61.08	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 24	C-C-S	71.814	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 25	C-C-C	92.164	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 26		62.235	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 27		86.796	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 28	C-C-S	96.24	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 29	C-C-S	108.125	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 30	C-C-S	43.159	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE
Curva Nº 31	C-C-S	64.522	30	21	SI CUMPLE	31.5	NO CUMPLE

Fuente de elaboración propia

Figura 51. Radios de curvas tramo Bogotá - Villavicencio.



Fuente: Elaboración propia

De la tabla 40 y la figura 51 se evidencia que de 19 curvas analizadas 17 cumplen con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras en cuanto a radios mínimos de curvatura equivalente al 89,47% y 8 cumplen con los radios máximos de curvatura equivalente al 42,11%. Por otra parte, de las 31 curvas en estudio 12 no tienen una geometría circular definida pudiendo generar en estos puntos dificultad al transitarla.

8.1.11. Velocidades tramo Bogotá - Villavicencio

La velocidad es un factor influyente para que se presenten accidentes de tránsito en una carretera y que además determinan la seguridad de los usuarios. En el siguiente análisis se toma como referencia la velocidad que estipula el manual de diseño geométrico de carreteras, así como la velocidad de diseño la cual se obtuvo de las señales verticales de la vía y la velocidad de operación de los vehículos para determinar los puntos críticos. Adicional se toman tramos de la carretera dependiendo si sube o baja. Las velocidades de operación fueron tomadas ubicando una distancia determinada en campo y con cronometro en mano.

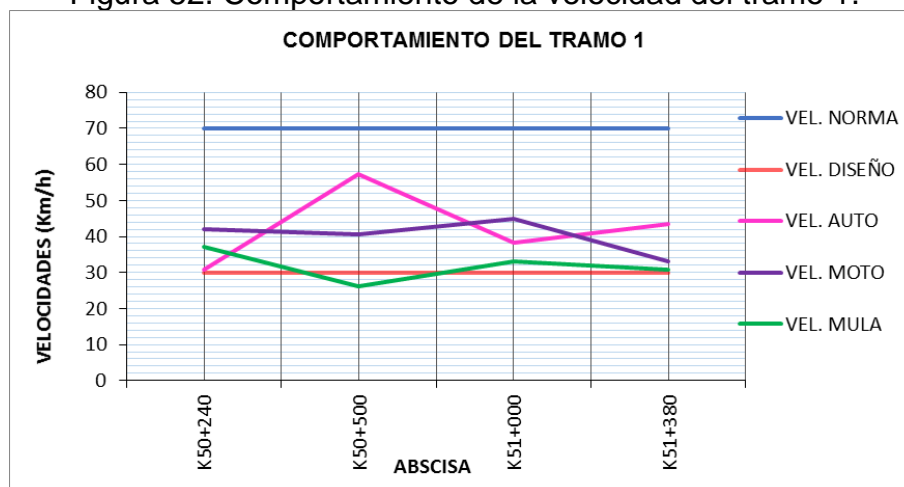
Tabla 41. Velocidades tramo Bogotá - Villavicencio.

TRAMO	TRAMO ABCISAS	VEL. DISEÑO (Km/h)	VEL. OPERACIÓN (Km/h)	NORMA (Km/h)	PENDIENTE LONGITUDINAL
1	K50+240-K51+380	30	42.3	70	SUBIENDO
2	K51+380-K52+880	50	51.4	70	BAJANDO
3	K52+880-K53+580	50	67.9	70	SUBIENDO
4	K53+580-K55+620	70	74.0	70	BAJANDO
5	K55+620-K56+930	30	48.9	70	BAJANDO

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 41 se evidencia que en la totalidad de las velocidades de operación no cumplen con las especificaciones de la velocidad de diseño. Un factor determinante para que se presente este aumento en las velocidades es la puesta en funcionamiento de la vía en doble calzada donde los usuarios tienen un mayor aprovechamiento de circulación sobre la infraestructura.

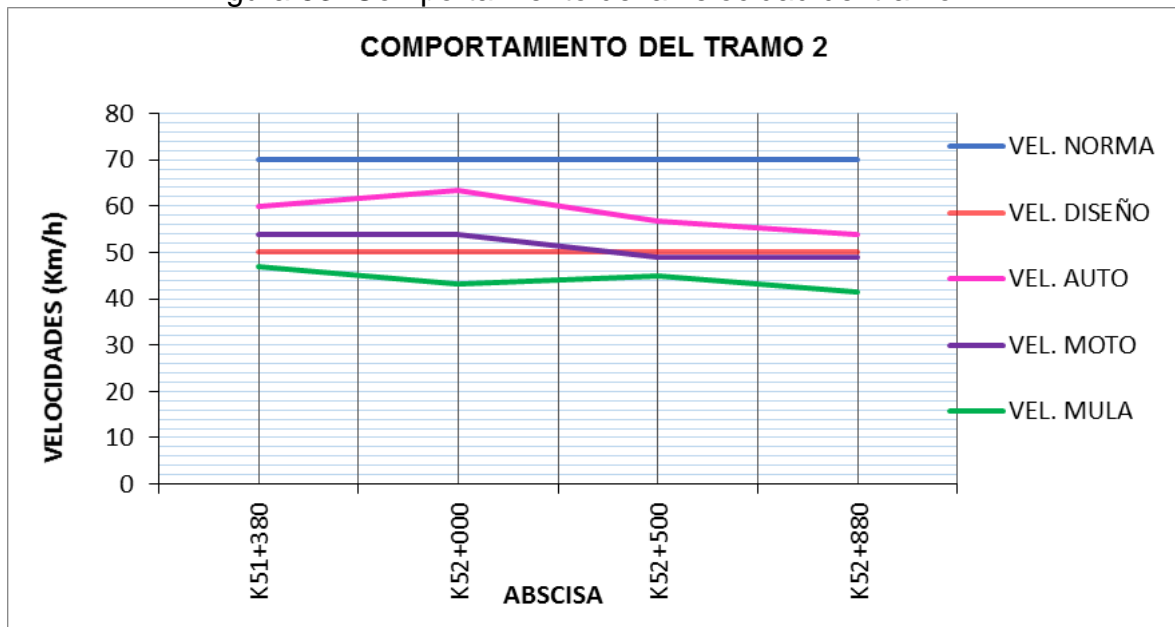
Figura 52. Comportamiento de la velocidad del tramo 1.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 52 se establece el comportamiento de las velocidades del tramo 1, en donde se evidencian la velocidad de diseño, la velocidad de norma y la velocidad de operación de los vehículos. Los tres tipos de vehículos (automóvil, moto y tracto camión) a los cuales se les tomo la velocidad en terreno están por debajo de lo que estipula la norma para este tipo de vías pero no cumplen con la velocidad de diseño en donde el automóvil es el vehículo más crítico siendo el P.R K50 + 500 en donde se presenta la más alta velocidad con un promedio de 58 km/h. Paradójicamente en este mismo punto es donde las mulas circulan a menor velocidad con un promedio de 26 km/h.

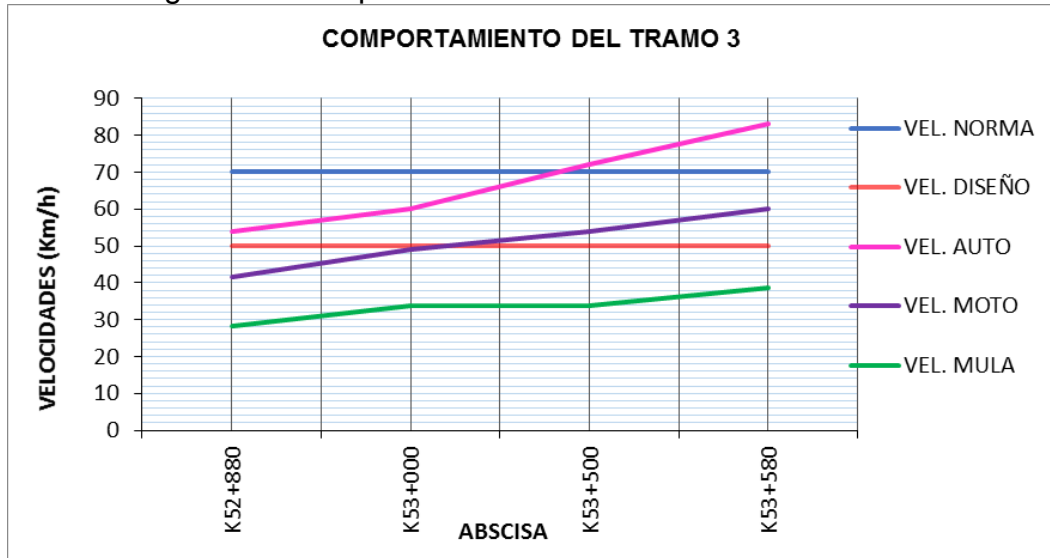
Figura 53. Comportamiento de la velocidad del tramo 2.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 53 los usuarios de los automóviles sobrepasaron la velocidad de diseño en todo el trayecto con una velocidad máxima de 63 km/h. Así mismo, los motociclistas sobrepasaron la velocidad hasta la mitad del tramo con una velocidad máxima de 54 km/h y reducen su velocidad hasta los 49 km/h aproximadamente. Por ultimo las mulas mantienen su velocidad por debajo de la velocidad de diseño con una máxima velocidad de 47 km/h. De lo anterior se puede inferir que los automóviles y las motos aumentan la velocidad debido a que tienen mayor capacidad de maniobrar bajando que las mulas las cuales son tomas mayores precauciones.

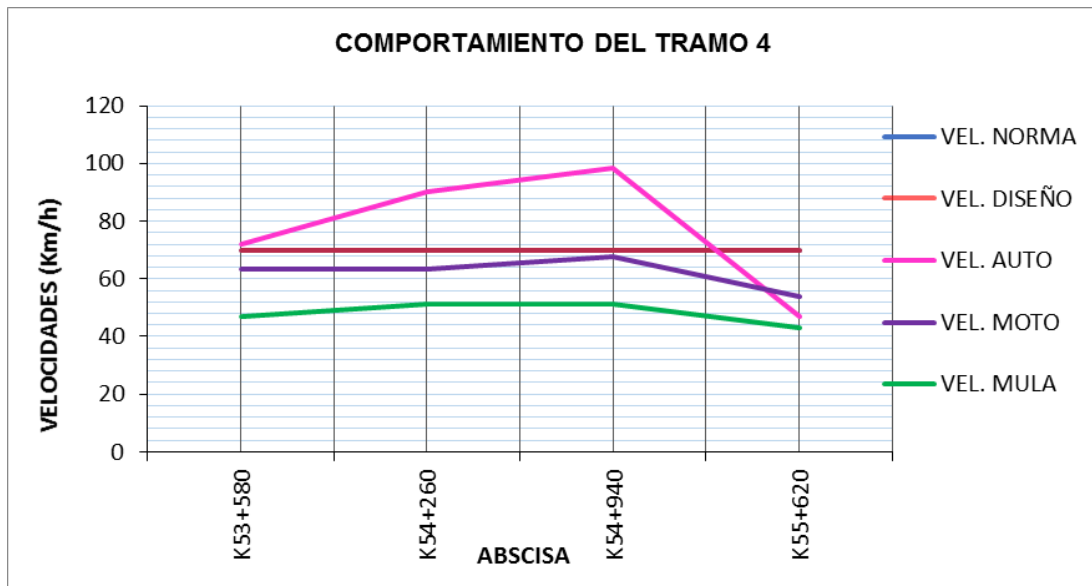
Figura 54. Comportamiento de la velocidad del tramo 3.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 54 se evidencia que los tres tipos de vehículos presentan un aumento progresivo en la velocidad sobrepasando en el caso de las motocicletas la velocidad de diseño y en el caso de los automóviles la velocidad de norma. Por otro lado, a pesar de que las mulas aumentan su velocidad gradualmente está por debajo de la velocidad de diseño. Por último se muestran que los automóviles alcanzan velocidades máximas de 83 Km/h al final del tramo. Las motocicletas 61 km/h y las mulas 41 km/h.

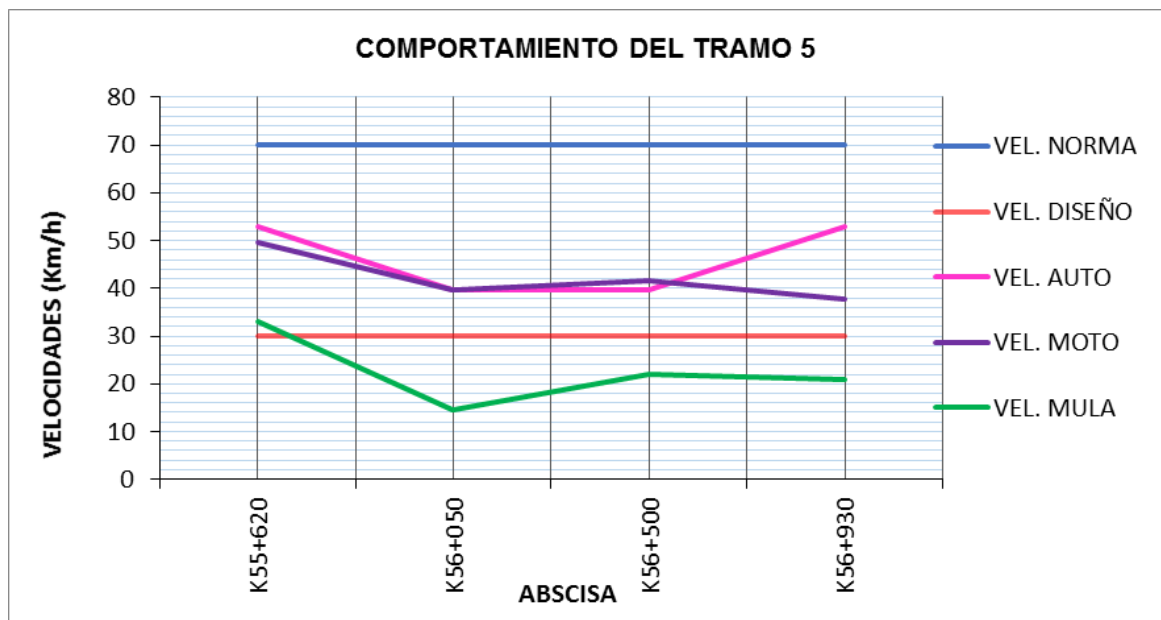
Figura 55. Comportamiento de la velocidad del tramo 4.



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 55 los vehículos tendieron a aumentar progresivamente su velocidad del PR 53+580 al PR 54+940 esto se debe a que la pendiente longitudinal varía entre -0.4% y -3.0% haciendo que los automóviles alcancen una velocidad máxima de 98.2 Km/h y excedan por mucho la velocidad de norma. A partir del P.R. K54 + 940 se observa una abrupta disminución de la velocidad en los tres tipos de vehículo debido a que en este punto la concesionaria instaló maletines para dejar la vía a un solo carril y generar un cuello de botella en la vía disminuyendo considerablemente la velocidad de operación. Con la anterior medida la concesionaria mantiene dentro de los límites a las motocicletas y a las mulas con velocidades máximas de 69 km/h y 49 km/h respectivamente.

Figura 56. Comportamiento de la velocidad del tramo 5.



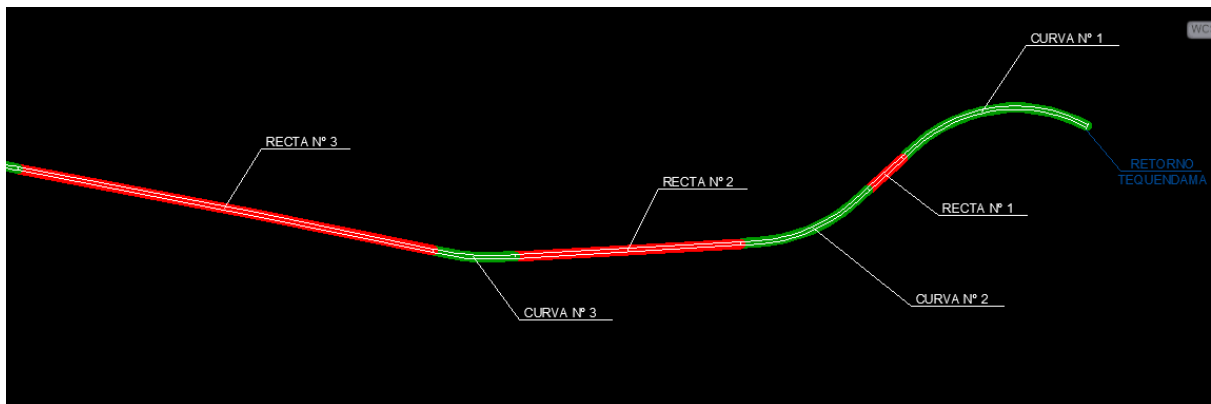
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 56 los automóviles y las motos sobrepasan la velocidad de diseño de todo el trayecto con velocidades máximas de 58 km/h y 50 km/h respectivamente en donde se debe circular a 30 km/h. Por otro lado, los tracto camiones a lo largo del trayecto tienden a ir bajo los límites de velocidad establecidos donde el único punto donde se encuentran por encima es el inicial con una velocidad de operación de 35 km/h.

8.2. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS EN EL TRAMO VILLAVICENCIO – BOGOTA

Con la construcción de la doble calzada subiendo de Villavicencio a Bogotá, la concesionaria diseño y ejecuto las obras bajo las más rigurosas especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras aumentando el nivel de seguridad de los usuarios de la vía. A continuación se presenta el análisis geométrico la vía desde la intersección Tequendama hasta el peaje de naranjal. Para efectos de tener una mejor comprensión del estado del tramo de estudio se descompuso la vía en rectas y curvas en todo el trayecto las cuales se identifican a continuación.

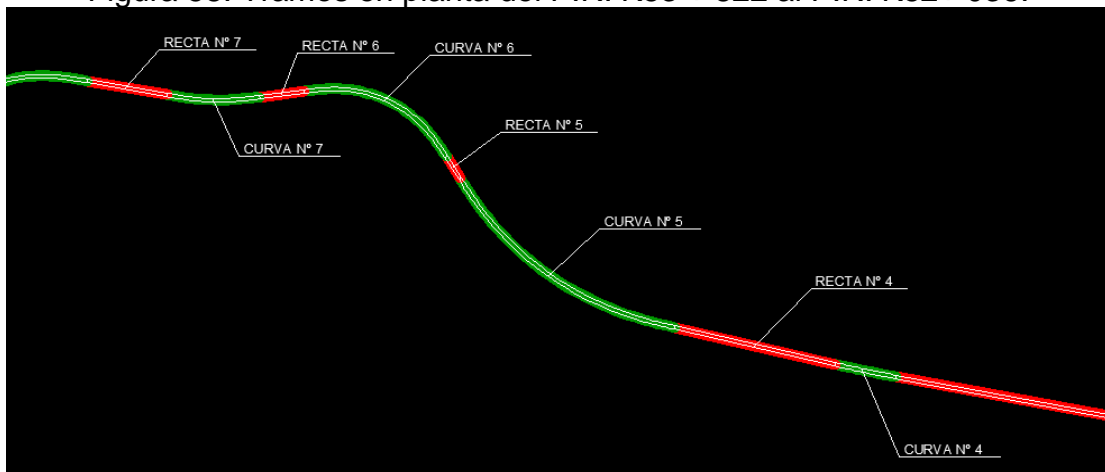
Figura 57. Tramos en planta del P.R. K56 + 200 al P.R. K53 + 822.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 57 se identifican 3 rectas y 3 curvas las cuales van desde el P.R. K56 + 200 al P.R. K53 + 822.

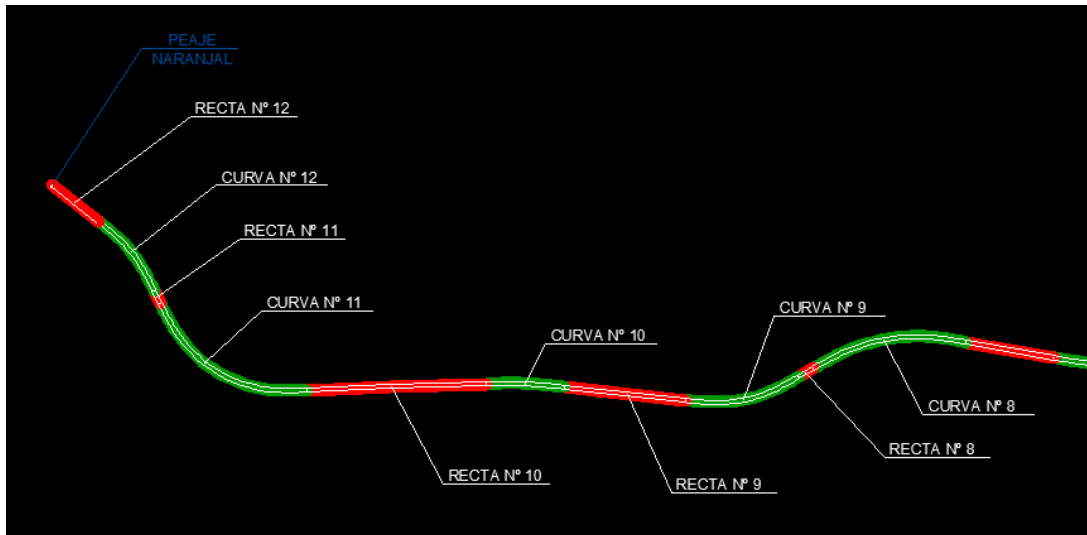
Figura 58. Tramos en planta del P.R. K53 + 822 al P.R. K52+ 036.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 58 se identifican 4 rectas y 4 curvas las cuales van desde el P.R. K53 + 822 al P.R. K52 + 036.

Figura 59. Tramos en planta del P.R. K52 + 036 al P.R. K50 + 240.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 59 se identifican 5 rectas y 5 curvas las cuales van desde el P.R. K52 + 036 al P.R. K50 + 240.

8.2.1. Descomposición por Tramos Villavicencio - Bogotá

Tabla 42. Descomposición por tramos PR de inicio K56+200 al PR final K50+240.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCIÓN TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) DESCOMPOSICIÓN POR TRAMOS				
DESCRIPCIÓN	P.R. INICIO	P.R. FINAL	DISTANCIA (m)	Nº DE CARRILES
Curva Nº 1	K56+200	K55+772	428	2
Recta Nº 1	K55+772	K55+674	98	2
Curva Nº 2	K55+674	K55+373	301	2
Recta Nº 2	K55+373	K54+894	479	2
Curva Nº 3	K54+894	K54+718	176	2
Recta Nº 3	K54+718	K53+822	896	2
Curva Nº 4	K53+822	K53+702	120	2
Recta Nº 4	K53+702	K53+381	321	2
Curva Nº 5	K53+381	K52+852	529	2
Recta Nº 5	K52+852	K52+801	51	2
Curva Nº 6	K52+801	K52+473	328	2
Recta Nº 6	K52+473	K52+385	88	2
Curva Nº 7	K52+385	K52+204	181	2

Recta N° 7	K52+204	K52+036	168	2
Curva N° 8	K52+036	K51+764	272	2
Recta N° 8	K51+764	K51 +734	30	2
Curva N° 9	K51 +734	K51 +524	210	2
Recta N° 9	K51 +524	K51 +310	214	2
Curva N° 10	K51 +310	K51 +170	140	2
Recta N° 10	K51 +170	K50 +854	315	2
Curva N° 11	K50 +854	K50 +528	26	2
Recta N° 11	K50 +528	K50 +503	325	2
Curva N° 12	K50 +503	K50 +343	160	2
Recta N° 12	K50 +343	K50 + 240	103	2
TOTAL			5959	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 42 se muestra la descomposición que se hace de los 5,95 km de doble calzada de Villavicencio a Bogotá, para el análisis se obtuvieron 12 rectas y 12 curvas.

8.2.2. Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá

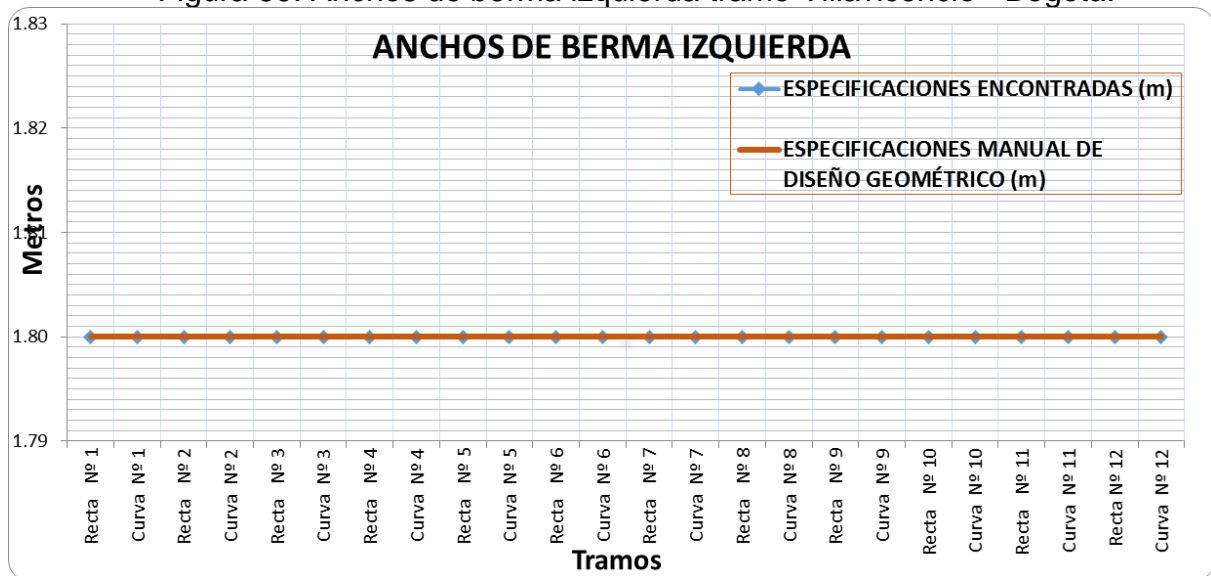
Tabla 43. Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCION TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) ANCHOS DE BERMA IZQUIERDA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO
Recta N° 1	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 1	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 2	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 2	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 3	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 3	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 4	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 4	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 5	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 5	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 6	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 6	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 7	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 7	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 8	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 8	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 9	1.80	1.8	SICUMPLE

Curva N° 9	1.80	1.8	SI CUMPLE
Recta N° 10	1.80	1.8	SI CUMPLE
Curva N° 10	1.80	1.8	SI CUMPLE
Recta N° 11	1.80	1.8	SI CUMPLE
Curva N° 11	1.80	1.8	SI CUMPLE
Recta N° 12	1.80	1.8	SI CUMPLE
Curva N° 12	1.80	1.8	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Anchos de berma izquierda tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 60 se muestra que todos los 24 elementos que se evaluaron en el tramo de estudio cumplen con el ancho de berma mínimo especificado por el manual de diseño geométrico, esto equivale al 100%. La vía cuenta dentro de túneles, viaductos y tramos a cielo abierto con la dimensión requerida para berma.

8.2.3. Anchos de berma derecha tramo Villavicencio – Bogotá

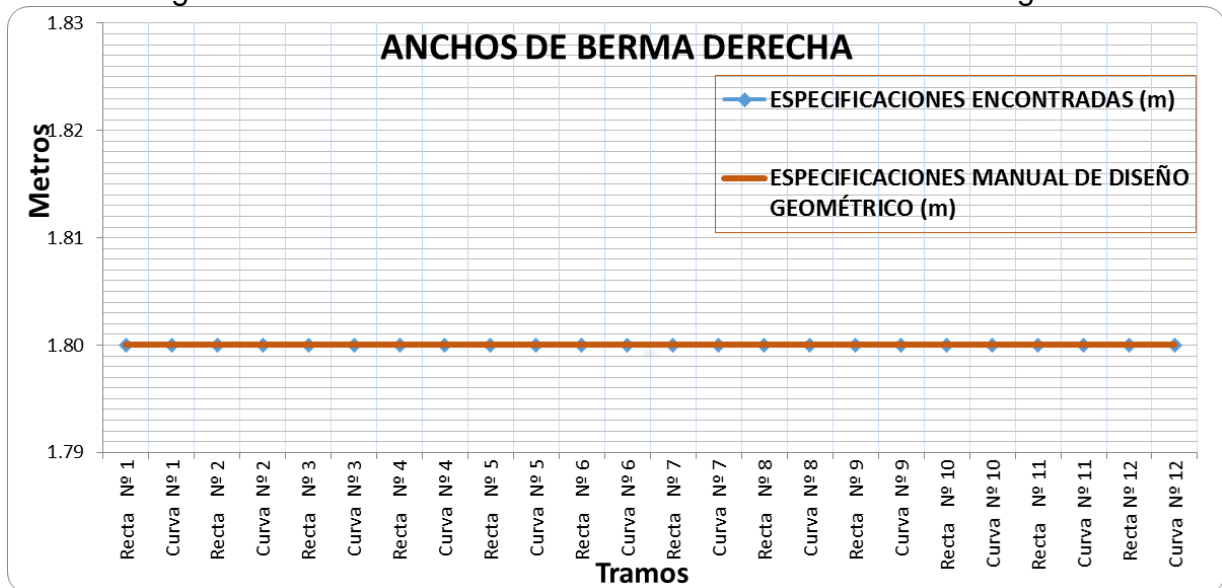
Tabla 44. Anchos de berma derecha tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCIÓN TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) ANCHOS DE BERMA DERECHA			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO
Recta N° 1	1.80	1.8	SI CUMPLE

Curva N° 1	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 2	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 2	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 3	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 3	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 4	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 4	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 5	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 5	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 6	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 6	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 7	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 7	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 8	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 8	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 9	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 9	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 10	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 10	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 11	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 11	1.80	1.8	SICUMPLE
Recta N° 12	1.80	1.8	SICUMPLE
Curva N° 12	1.80	1.8	SICUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Anchos de berma derecha tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 61 se muestra que todos los 24 elementos que se evaluaron en el tramo de estudio cumplen con el ancho de berma mínimo especificado por el manual de diseño geométrico, esto equivale al 100%. La vía cuenta dentro de túneles, viaductos y tramos a cielo abierto con la dimensión requerida para berma.

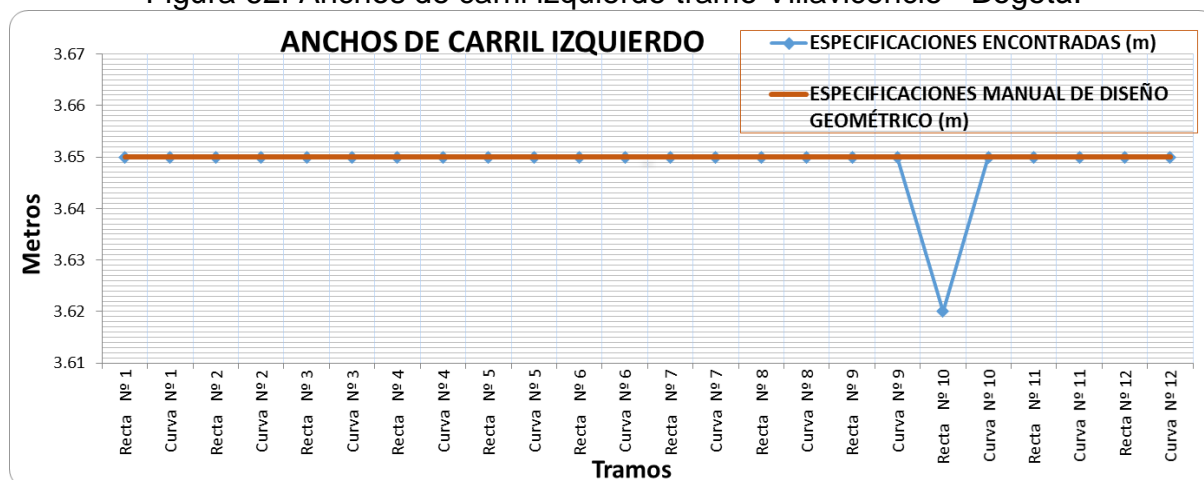
8.2.4. Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio – Bogotá

Tabla 45. Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCION TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) ANCHOS DE CARRIL IZQUIERDO			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO
Recta N° 1	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 1	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 2	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 2	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 3	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 3	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 4	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 4	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 5	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 5	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 6	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 6	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 7	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 7	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 8	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 8	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 9	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 9	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 10	3.62	3.65	NO CUMPLE
Curva N° 10	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 11	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 11	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 12	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 12	3.65	3.65	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Anchos de carril izquierdo tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

La evaluación que se hace del ancho de carril izquierdo de la vía con las especificaciones del manual geométrico de carreteras arrojó que 23 de los 24 elementos analizados cumplen con las dimensiones de la normatividad, esto equivale al 95,83% del total de los componentes examinados. En general el ancho de carril cumple a lo largo del tramo de estudio.

8.2.5. Anchos de carril derecho tramo Villavicencio – Bogotá

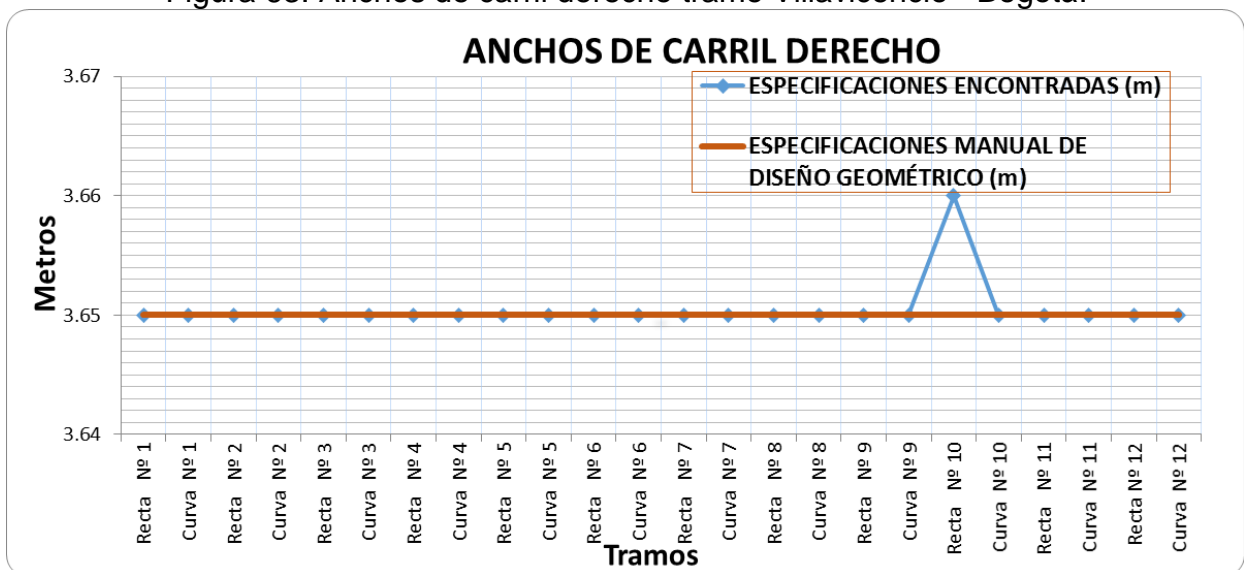
Tabla 46. Anchos de carril derecho tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCIÓN TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) ANCHOS DE CARRIL DERECHO			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (m)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (m)	CUMPLIMIENTO
Recta Nº 1	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva Nº 1	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta Nº 2	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva Nº 2	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta Nº 3	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva Nº 3	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta Nº 4	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva Nº 4	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta Nº 5	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva Nº 5	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta Nº 6	3.65	3.65	NO CUMPLE
Curva Nº 6	3.65	3.65	NO CUMPLE

Recta N° 7	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 7	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 8	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 8	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 9	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 9	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 10	3.66	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 10	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 11	3.65	3.65	NO CUMPLE
Curva N° 11	3.65	3.65	SI CUMPLE
Recta N° 12	3.65	3.65	SI CUMPLE
Curva N° 12	3.65	3.65	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Anchos de carril derecho tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

La evaluación que se hace del ancho de carril derecho de la vía con las especificaciones del manual geométrico de carreteras arrojó los 24 elementos analizados cumplen con las dimensiones de la normatividad, esto equivale al 100% del total de los componentes examinados. En general el ancho de carril cumple a lo largo del tramo de estudio.

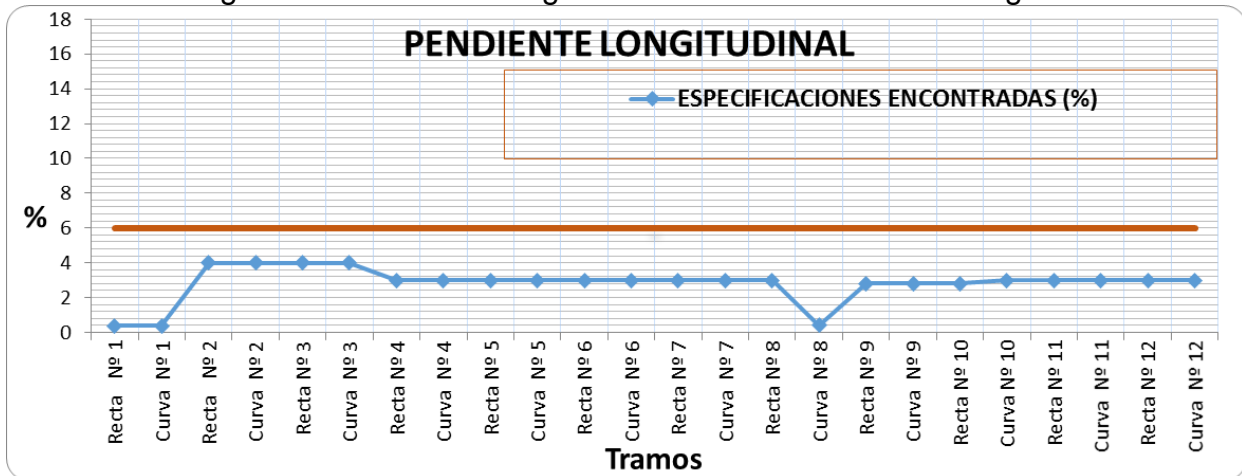
8.2.6. Pendiente longitudinal tramo Villavicencio – Bogotá

Tabla 47. Pendiente longitudinal tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCIÓN TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) PENDIENTE LONGITUDINAL			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO ($\leq 6\%$)	CUMPLIMIENTO
Recta N° 1	0.38	6	SI CUMPLE
Curva N° 1	0.38	6	SI CUMPLE
Recta N° 2	4.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 2	4.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 3	4.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 3	4.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 4	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 4	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 5	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 5	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 6	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 6	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 7	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 7	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 8	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 8	0.41	6	SI CUMPLE
Recta N° 9	2.80	6	SI CUMPLE
Curva N° 9	2.80	6	SI CUMPLE
Recta N° 10	2.80	6	SI CUMPLE
Curva N° 10	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 11	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 11	3.00	6	SI CUMPLE
Recta N° 12	3.00	6	SI CUMPLE
Curva N° 12	3.00	6	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Pendiente longitudinal tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

La figura 64 muestra que todos los 24 elementos analizados cumplieron con las pendientes longitudinales máximas de acuerdo a las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras, es decir el 100% del total de pendientes estudiadas. La pendiente mínima que maneja el tramo de estudio es del 0,38% y la pendiente es del 4%.

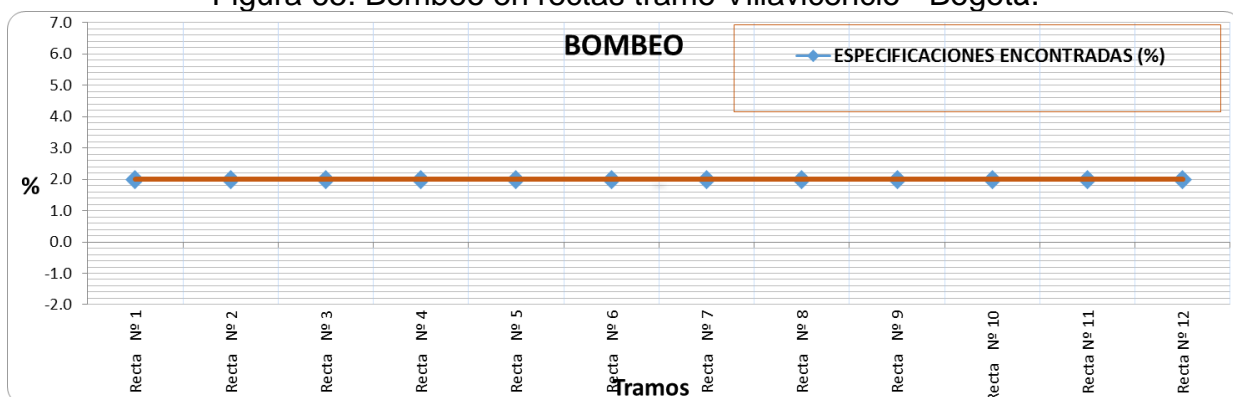
8.2.7. Bombeo en rectas tramo Villavicencio – Bogotá

Tabla 48. Bombeo en rectas tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA VILLAVICENCIO - BOGOTÁ (INTERSECCION TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) BOMBEO EN RECTAS			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (%)	CUMPLIMIENTO
Recta Nº 1	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 2	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 3	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 4	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 5	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 6	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 7	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 8	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 9	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 10	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 11	2.0	2	SI CUMPLE
Recta Nº 12	2.0	2	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Bombeo en rectas tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

De la figura 65 se evidencia que las 12 rectas analizadas cumplieron con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras en cuanto a bombeo para vías de este tipo, esto equivale al 100% del total de rectas estudiadas. Esta pendiente mínima para bombeo se contempla para permitir que el agua y otros elementos que permanezcan sobre la vía escurran hacia los costados evitando que los vehículos presenten algún accidente.

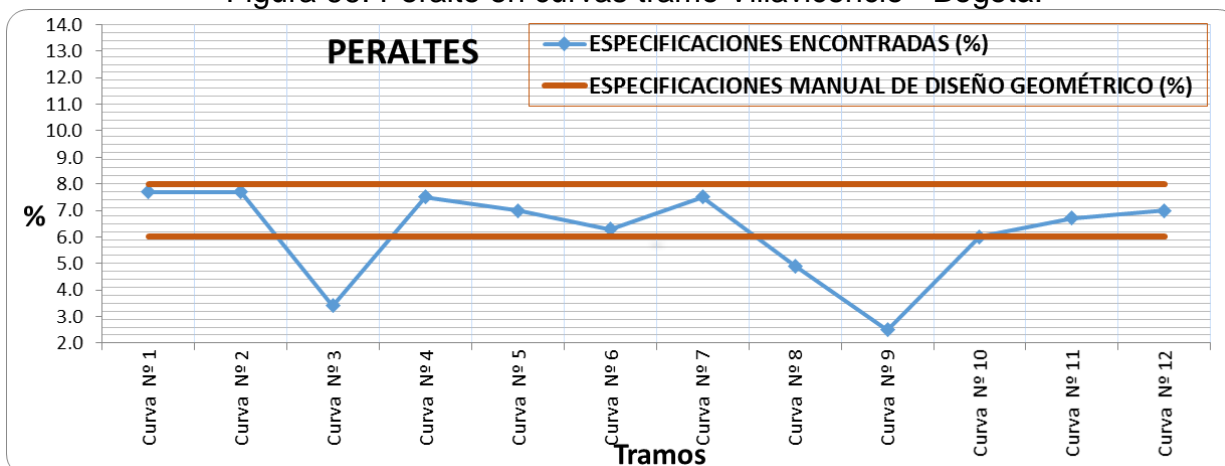
8.2.8. Peralte en curvas tramo Villavicencio – Bogotá

Tabla 49. Peralte en curvas tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (INTERSECCION TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) PERALTES EN CURVAS 6% - 8%			
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS (%)	ESPECIFICACIONES MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO (%)	CUMPLIMIENTO
Curva Nº 1	7.7	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 2	7.7	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 3	3.4	6--8	NO CUMPLE
Curva Nº 4	7.5	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 5	7.0	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 6	6.3	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 7	7.5	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 8	4.9	6--8	NO CUMPLE
Curva Nº 9	2.5	6--8	NO CUMPLE
Curva Nº 10	6.0	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 11	6.7	6--8	SI CUMPLE
Curva Nº 12	7.0	6--8	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Peralte en curvas tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 66 se muestra que de las 12 curvas analizadas 9 cumplen con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras en cuanto a peraltes para este tipo de vías, esto equivale al 75,00% del total de curvas estudiadas. Los puntos en los cuales los peraltes no cumplen son la curva Nº 3, la curva N 8 y la curva Nº 9 con pendientes del 3,4%, 4,9 y 2,5% respectivamente.

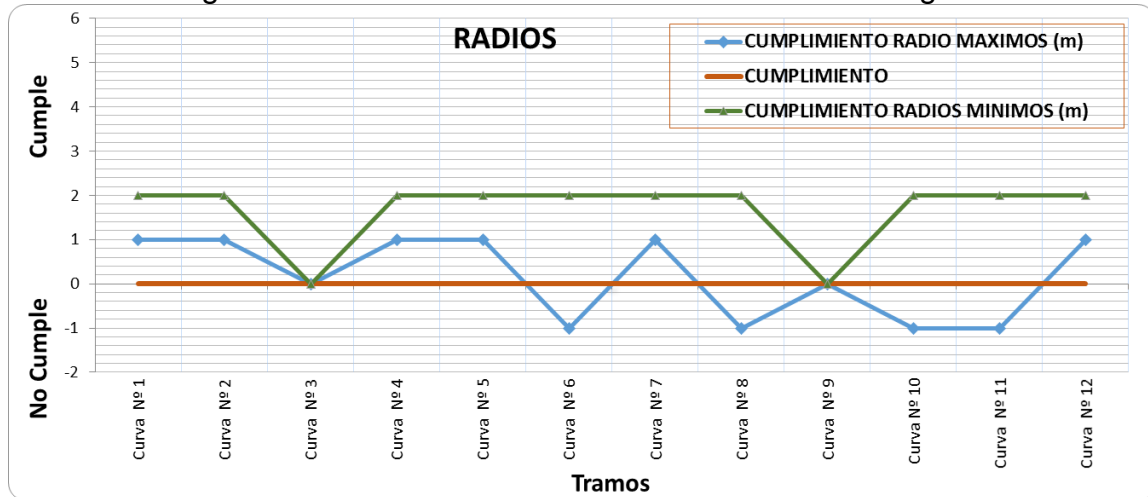
8.2.9. Tipo de curvas y radio tramo Villavicencio – Bogotá

Tabla 50. Tipo de curvas y radio tramo Villavicencio - Bogotá.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA VÍA BOGOTÁ VILLAVICENCIO (INTERSECCION TEQUENDAMA - PEAJE NARANJAL) TIPOS DE CURVAS							
DESCRIPCIÓN	TIPO DE CURVA	RADIO EN PLANO (m)	VELOCIDADES (Km/h)	RADIOS MINIMOS (m)	CUMPLIMIENTO RADIOS MINIMOS (m)	RADIOS MAXIMOS (m)	CUMPLIMIENTO RADIO MAXIMOS (m)
Curva Nº 1	E-C-E	230	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE
Curva Nº 2	E.C.E	230	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE
Curva Nº 3	E	-	80	229	SIN REGISTRO	343.5	SIN REGISTRO
Curva Nº 4	E-C-E	240	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE
Curva Nº 5	E-C-E	320	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE
Curva Nº 6	E-C-E	400	80	229	SICUMPLE	343.5	NO CUMPLE
Curva Nº 7	E-C-E	235	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE
Curva Nº 8	E-C-E	600	80	229	SICUMPLE	343.5	NO CUMPLE
Curva Nº 9	E	-	80	229	SIN REGISTRO	343.5	SIN REGISTRO
Curva Nº 10	E-C-E	450	80	229	SICUMPLE	343.5	NO CUMPLE
Curva Nº 11	E-C-E	350	80	229	SICUMPLE	343.5	NO CUMPLE
Curva Nº 12	E-C-E	315	80	229	SICUMPLE	343.5	SICUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Radios de curvas tramo Villavicencio - Bogotá.



Fuente: Elaboración propia

De la tabla 50 y la figura 67 se evidencia que de 10 curvas analizadas 10 cumplieron con las especificaciones del manual de diseño geométrico de carreteras en cuanto a radios mínimos de curvatura equivalente al 100% y solo 6 cumplieron con los radios máximos de curvatura equivalente al 60,00%. Por otra parte, de las curvas N° 3 y N° 9 en estudio no se tiene registro de sus respectivos radios.

8.2.10. Velocidades tramo Villavicencio – Bogotá

Para el registro de las velocidades de operación fue necesario tomarlas desde un vehículo en movimiento debido a que la concesionaria no permite a ningún vehículo estacionar.

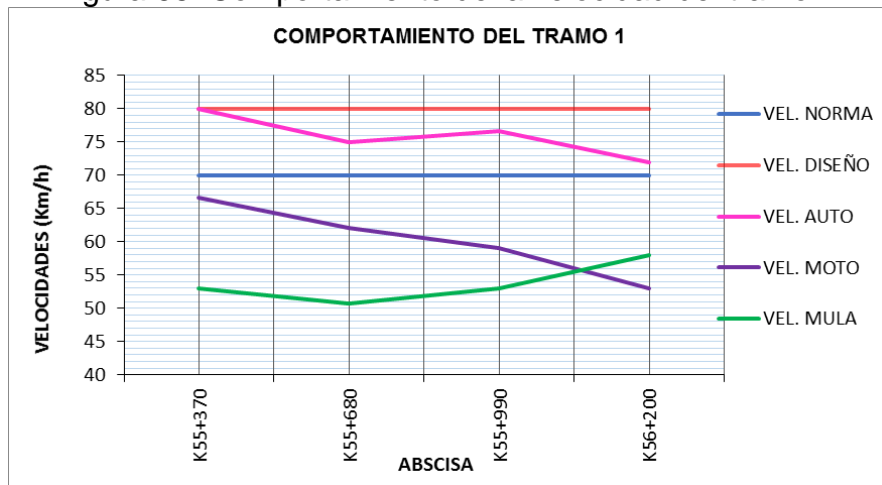
Tabla 51. Velocidades tramo Villavicencio - Bogotá.

TRAMO	TRAMO ABSCISA	VEL. DISEÑO (Km/h)	VEL. OPERACIÓN (Km/h)	NORMA (Km/h)	PENDIENTE LONGITUDINAL
5	K50+240-K51+250	80	89.8	70	-
4	K51+250-K52+470	80	97.0	70	-
3	K52+470-K53+820	80	92.1	70	-
2	K53+820-55+370	80	104.3	70	-
1	K55+370-K56+200	80	75.6	70	-

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 51 se evidencia que de los 5 tramos en estudio, solo 1 cumple con la velocidad de diseño la cual es de 80 km/h mientras que los otros 4 están muy por encima de dicha velocidad presentando el tramo 2 la máxima con 104,3 km/h. Que el tramo 1 tenga la menor velocidad de operación y por ende cumpla con la velocidad de diseño obedece a que el primer sector comienza después que la vía tiene una bifurcación incrementándose la pendiente y desarrollando en los vehículos poca velocidad.

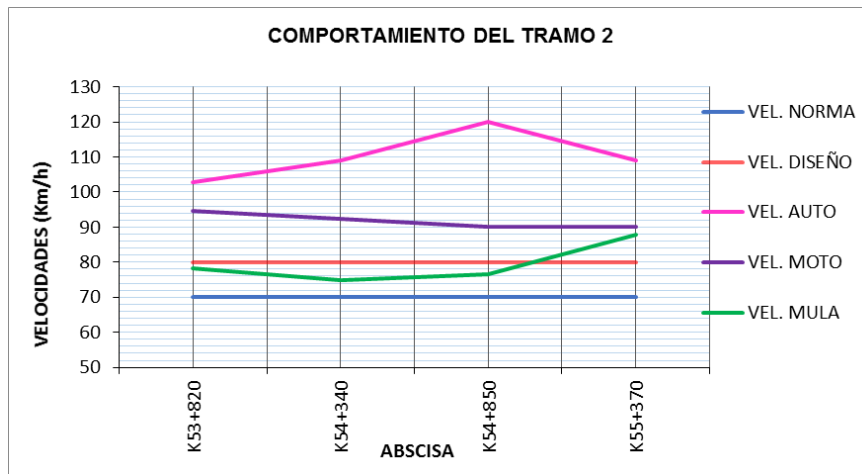
Figura 68. Comportamiento de la velocidad del tramo 1.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 68 se establece el comportamiento de las velocidades del tramo 1, en donde se evidencian la velocidad de diseño, la velocidad de norma y la velocidad de operación de los vehículos. Los tres tipos de vehículos (automóvil, moto y tracto camión) a los cuales se les tomo la velocidad en terreno están por debajo de la velocidad de diseño. Las máximas velocidades de operación que se desarrollan en el tramo para vehículos es de 80 km/h, para motos es de 67 km/h y para tracto camiones es de 58 km/h.

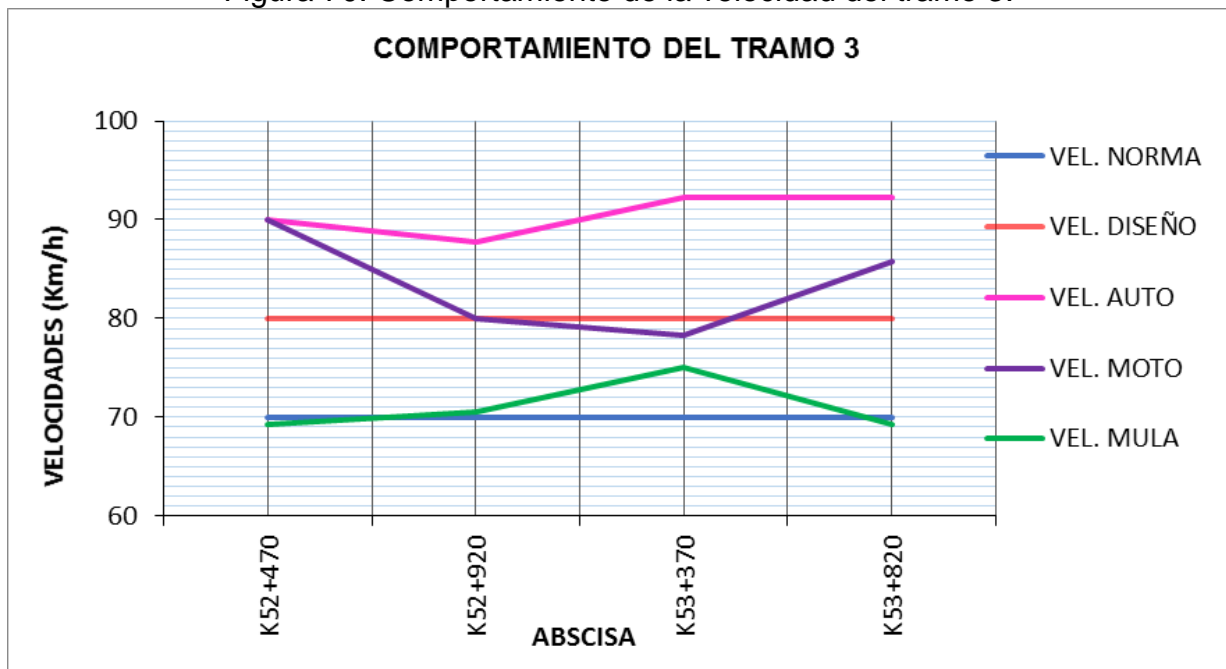
Figura 69. Comportamiento de la velocidad del tramo 2.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 69 los usuarios de automóviles y motocicletas sobrepasaron la velocidad de diseño en todo el trayecto con una velocidad máxima de 110 km/h y 92 km/h respectivamente, mientras que los tracto camiones en la parte final del tramo incrementaron su velocidad superando la velocidad de diseño y llegando a 79 km/h aproximadamente.

Figura 70. Comportamiento de la velocidad del tramo 3.

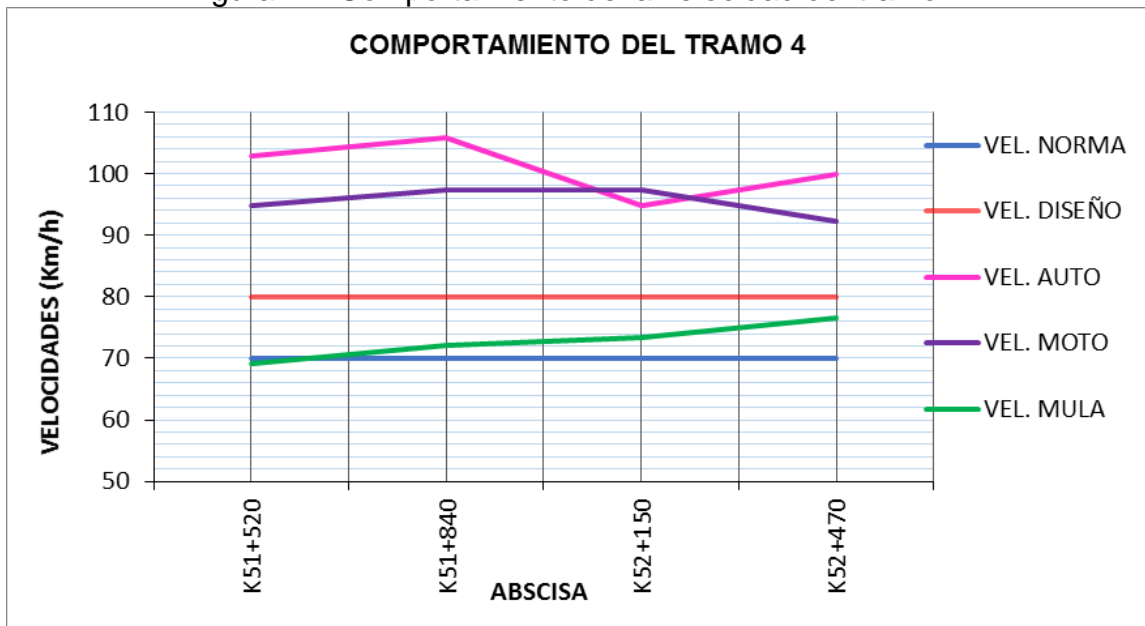


Fuente: Elaboración propia

En la figura 70 se evidencia que el automóvil permanece por encima de la velocidad de diseño en todo el trayecto y además incrementa su velocidad llegando a una velocidad promedio de 91 km/h. Las motocicletas Comienzan por encima de la velocidad de

diseño, a mitad del tramo están por debajo y vuelven a incrementar su velocidad llegando a desarrollar una velocidad promedio de 84 km/h. Por último los tracto camiones permanecen por debajo de la velocidad de diseño y por encima de la velocidad por norma llegando a desarrollar una velocidad máxima de 75 km/h.

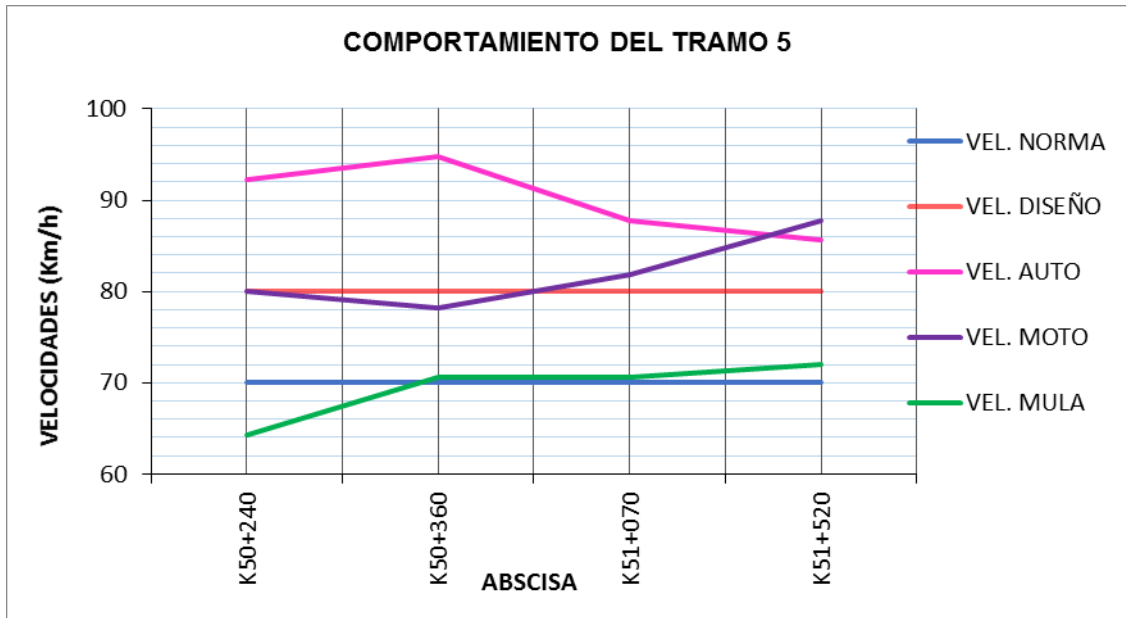
Figura 71. Comportamiento de la velocidad del tramo 4.



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 71 los vehículos y las motocicletas desarrollaron grandes velocidades superando a la velocidad de diseño con máximas velocidades de 106 km/h y 97 km/h respectivamente. La velocidad de los tracto camiones crece gradualmente llegando a una máxima de 77 km/h y permaneciendo gradual entre la velocidad de norma y la velocidad de diseño.

Figura 72. Comportamiento de la velocidad del tramo 5.



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 72 los automóviles sobrepasan la velocidad de diseño en todo el trayecto con velocidades máximas de 95 km/h. Las motos cumplen con la velocidad de diseño hasta la mitad del trayecto punto en el cual aumentan su velocidad gradualmente hasta los 88 k/h. Así mismo, los tracto camiones empiezan con una velocidad mínima de 64 km/h y llegando a los 72 km/h sobrepasando la velocidad de norma.

9. ANALISIS DE SEÑALIZACION TRAMO DE ESTUDIO

A continuación se hizo una descripción por tramos del estado de la señalización y el pavimento indicando aquellos elementos que incidieron en la alta accidentalidad en el sector.

9.1. SEÑALIZACION TRAMO DE ESTUDIO BOGOTA – VILLAVICENCIO

9.1.1. Tramo del P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 380

Tabla 52. Señalización P.R. K50 + 240 al P.R. K51 + 380 tramo Bogotá - Villavicencio.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K50+800 no existe señal de entrada y salida de vehiculos
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K51+000 no existe demarcación de la línea blanca al costado izquierdo de la vía y en acceso a un caserío.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

Evaluación general del tramo:

- En el punto de referencia K51 + 200 no existe señalización clara de bifurcación a la derecha y retorno.
- Desde el punto de referencia K51 + 090 hasta el K51 + 380 no existe línea blanca de división de carriles sino existe doble línea amarilla la cual se utiliza en vías de doble sentido.
- En el punto de referencia K50 + 800 no existe señalización indicando que los vehículos se aproximan a zona residencial
- Aún existe señalización vertical tapada que servía de indicación cuando la vía operaba en doble sentido.

9.1.2. Tramo del P.R. K51 + 380 al P.R. K52 + 880

Tabla 53. Señalización P.R. K51 + 380 al P.R. K52+ 880 tramo Bogotá - Villavicencio.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K52+060 falta señalización en vía terciarias por entrada y salida de vehículos
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K52+500 líneas desvanecidas en la vía.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

- En el punto de referencia K51 + 440 existe señalización horizontal indicando zona escolar que se encuentra al revés.
- En todo el trayecto no existe la línea blanca de división de carriles.
- Aún existe señalización vertical tapada que servía de indicación cuando la vía operaba en doble sentido.
- Demarcación blanca de ancho de carril en mal estado que puede poner en riesgo a los usuarios cuando se transita de noche.

9.1.3. Tramo del P.R. K52 + 880 al P.R. K53 + 580

Tabla 54. Señalización P.R. K52 + 880 al P.R. K53+ 580 tramo Bogotá - Villavicencio.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K53+300 no existe señal de altura limite en el puente peatonal.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K53+300 no existe señal demarcada de zona escolar.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Reparcheo en el PR K53 +260 sin demarcacion de lineas

Fuente: Elaboración propia

- Existe la línea blanca de división de carriles pintada sobre doble línea amarilla.
- Aún existe señalización vertical tapada que servía de indicación cuando la vía operaba en doble sentido.
- Los cambios en la superficie sin señal preventiva de acuerdo al manual, pueden poner en riesgo la seguridad de los usuarios por perdidas de control en los vehículos.
- En el punto de referencia K53 + 000 no existe señalización vertical indicando que los vehículos se aproximan a zona residencial.
- En el punto de referencia K53 + 260 existe un reparcheo sin demarcación de señal horizontal.
- En el punto de referencia K53 + 300 no existe señal de bifurcación a la derecha.

9.1.4. Tramo del P.R. K53 + 580 al P.R. K55 + 620

Tabla 55. Señalización P.R. K53 + 580 al P.R. K55 + 620 tramo Bogotá - Villavicencio.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K54+560 falta señal informativa de bascula. En el PR K54+600 no existe señal de descenso peligroso.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K54+650 las líneas de demarcación de la vía muy desvanecidas. En el PR K 54+930 la demarcación de la vía en muy estado (desvanecida).
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	En el PR K53 + 560 agrietamiento en el pavimento

Fuente: Elaboración propia

- Aún existe señalización vertical tapada que servía de indicación cuando la vía operaba en doble sentido.
- Los cambios en la superficie sin señal preventiva de acuerdo al manual, pueden poner en riesgo la seguridad de los usuarios por pérdidas de control en los vehículos.
- En el punto de referencia K54 + 140 no existe señal de indicación de salida de volquetas y maquinaria por lugar destinado a cantera de extracción de materiales.
- Debido a la ubicación de señales horizontales antiguas se presenta confusión en los usuarios. De acuerdo al manual de demarcación esta debe ser lo más clara posible para orientar al conductor.

9.1.5. Tramo del P.R. K55 + 620 al P.R. K56 + 930

Tabla 56. Señalización P.R. K55 + 620 al P.R. K56 + 930 tramo Bogotá - Villavicencio.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K56+620 falta de señalización de curva a la derecha.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K56+400 las líneas de la vía no se encuentran en buen estado.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	En el PR K53 +700 reparcho de la vía sin demarcacion de líneas

Fuente: Elaboración propia

- Aún existe señalización vertical tapada que servía de indicación cuando la vía operaba en doble sentido.
- Los cambios en la superficie sin señal preventiva de acuerdo al manual, pueden poner en riesgo la seguridad de los usuarios por pérdidas de control en los vehículos.
- En el punto de referencia K54 + 600 hace falta señal vertical que indique que la vía se reduce de 3 carriles a 1 carril.
- Debido a la ubicación de señales horizontales antiguas se presenta confusión en los usuarios. De acuerdo al manual de demarcación esta debe ser lo más clara posible para orientar al conductor.
- En el punto de referencia K54 + 600 hace falta señalización vertical que indique que inicia zona de alta peligrosidad de accidentes.

9.2. SEÑALIZACION TRAMO DE ESTUDIO VILLAVICENCIO - BOGOTA

9.2.1. Tramo del P.R. K56 + 200 al P.R. K55 + 370

Tabla 57. Señalización P.R. K56 + 200 al P.R. K55 + 370 tramo Villavicencio - Bogotá.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K55+600 falta señalización de la curva a la derecha.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K 55+790 se presenta marcación de la vía difusa.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

En términos generales el tramo analizado está en buenas condiciones, la demarcación de señales verticales y horizontales cumplen en su mayoría con la reglamentación y el estado del pavimento en todo el recorrido es óptimo.

9.2.2. Tramo del P.R. K55 + 370 al P.R. K53 + 820

Tabla 58. Señalización P.R. K55 + 370 al P.R. K53 + 820 tramo Villavicencio - Bogotá.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K54+800 señal en mal estado.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K54+000 falta marcación de líneas de la vía en ambos costados.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

En términos generales el tramo analizado está en buenas condiciones, la demarcación de señales verticales y horizontales cumplen en su mayoría con la reglamentación y el estado del pavimento en todo el recorrido es óptimo.

9.2.3. Tramo del P.R. K53+ 820 al P.R. K52 + 240

Tabla 59. Señalización P.R. K53 + 820 al P.R. K52 + 240 tramo Villavicencio - Bogotá.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K53+400 falta señal de curva a la derecha.(dentro del tunel)
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En PR K52+600 no existe marcación del desvio hacia monte redondo.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

En términos generales el tramo analizado está en buenas condiciones, la demarcación de señales verticales y horizontales cumplen en su mayoría con la reglamentación y el estado del pavimento en todo el recorrido es óptimo.

9.2.4. Tramo del P.R. K52 + 240 al P.R. K51 + 250

Tabla 60. Señalización P.R. K52 + 240 al P.R. K51 + 250 tramo Villavicencio - Bogotá.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K51+700 hay una entrada de vehiculos a la doble calzada sin señalizar.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	En este tramo posee una buena señalización horizontal.
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

En términos generales el tramo analizado está en buenas condiciones, la demarcación de señales verticales y horizontales cumplen en su mayoría con la reglamentación y el estado del pavimento en todo el recorrido es óptimo.

1.1.1. Tramo del P.R. K51 + 250 al P.R. K50 + 200

Tabla 61. Señalización P.R. K51 + 250 al P.R. K50 + 200 tramo Villavicencio - Bogotá.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Consistencia	En PR K50+800 las señales de curva a la derecha deberían empezar antes.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcación	Demarcación horizontal de la vía en buen estado
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Superficie en buen estado

Fuente: Elaboración propia

En términos generales el tramo analizado está en buenas condiciones, la demarcación de señales verticales y horizontales cumplen en su mayoría con la reglamentación y el estado del pavimento en todo el recorrido es óptimo.



10. CONCLUSIONES

- Se identificó que en la vía Bogotá – Villavicencio existen 2 puntos críticos de accidentalidad; el primero ubicado desde el P.R. K10 + 000 al P.R. K20 + 000 entre el municipio de Chipaque y el corregimiento de Abasticos en donde se evidenció el inicio de 2 kilómetros de doble calzada, el aumento de las velocidades de operación de los vehículos en este tramo, pendientes muy elevadas, curvas con radios mínimos y anchos de vía sin berma. El segundo ubicado en el tramo de estudio del presente proyecto más exactamente en el punto de referencia K55 + 000 al K55 + 500 en sentido Bogotá – Villavicencio el cual no cumple con la normatividad del INVIAS en elementos como bermas, radios mínimos de curvas, peraltes por debajo de la normatividad, pendientes longitudinales por encima de las reglamentarias y velocidades de operación por encima de las velocidades de diseño. El punto crítico N° 1 se diferencia del punto crítico N° 2 en que presentó menor número de accidentes pero los cuales son más mortales, mientras que en el punto crítico N° 2 se presentaron mayor números de accidentes pero la mortalidad es menor en comparación con el primer punto. Sumado a lo anterior se identificó que la ausencia de señalización es un factor importante para que aumente la accidentalidad. Así mismo, la concesionaria decidió implementar maletines en este punto para pasar de tres carriles a uno y buscar reducir la velocidad de operación en los vehículos.
- Se identificó con el análisis del diseño geométrico del tramo que va desde Bogotá a Villavicencio que el 48,58% cumple con respecto a la parte geométrica siendo los puntos más críticos, los anchos de berma, el bombeo, los peraltes de las curvas y las pendientes longitudinales los factores más influyentes para que aumenten los accidentes.
- Se identificó con el análisis del diseño geométrico del tramo que va desde Villavicencio a Bogotá que el 92,31% cumple con respecto a la parte geométrica siendo los puntos más influyentes los peraltes.
- Se determinó que desde la entrada en funcionamiento de la doble calzada el 5 de junio de 2015 el número de accidentes se incrementó en el punto crítico, que el número de muertos se redujo y el número de heridos se mantuvo, la mayor causa fue no mantener la distancia de seguridad. Igualmente se pudo evidenciar con el análisis geométrico que en el sentido Bogotá – Villavicencio no están cumpliendo elementos tales como; anchos de berma, pendientes longitudinales, bombeos, peraltes y radios de curvatura. También se evidencio que la velocidad de operación en todos los tramos es superior a la de diseño lo cual nos indica

que para que haya aumentado el número de accidentes se debió a la sumatoria de todos los elementos anteriormente mencionados.

11.RECOMENDACIONES

Tipo de tratamiento	Ejemplo	
<p>Marcación vial antigua PR K50+620</p>	<p>Se recomienda borrar la antigua señalización horizontal, para evitar confusiones de los usuarios con la nueva demarcación.</p>	
<p>Falta de Señalización PR K51+040</p>	<p>En este sector falta una señal que indique una disminución de la velocidad ya que hay casas al lado de la vía y esto puede ser causa de accidentes.</p>	
<p>Señalización PR K52+400 SP 46</p>	<p>Se evidencia falta de señalización preventiva para los peatones .</p>	
<p>Señalización PR K52+520 SP 03</p>	<p>No posee señalización de curva a la izquierda, esto puede confundir al usuario y generar accidentes.</p>	
<p>Mejora en la señalización PR K53+300 implementación de señales SR-32 y SR-31</p>	<p>Se hace indispensable implementar las señal de altura permitida y de peso máximo permitido, para así informar a los usuarios.</p>	
<p>Señalización PR K54+600 SP-27</p>	<p>Se evidencia falta de señales como disminuya su velocidad y descenso peligroso.</p>	

Tipo de tratamiento	Ejemplo
<p data-bbox="284 380 451 449">Señalización PR K54+650</p>	<p data-bbox="514 268 943 556">Hace falta una señal en la vía que informe la disminución de 2 carriles a 1, esto por unos maletines colocados que indican un descenso pronunciado y además el sector con mas índice de accidentabilidad de la doble calzada.</p> 
<p data-bbox="237 642 496 747">Mejora de reducción de carriles PR K54+950</p>	<p data-bbox="514 569 922 823">Se hace necesario mejorar la reducción de los carriles ya que estos no estan de forma permanente y son faciles de correr. Tambien podria dar un radio mas amplio en las curvas para mejorar el descenso.</p> 

Fuente: Elaboración propia

12. BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. Observatorio de Seguridad Vial. Relevamiento de indicadores estadísticos en materia de Seguridad Vial en Argentina, consignando autor y entes que utilizan cada uno. [Consultado el 1 de octubre de 2016]. <Disponible en <http://observatoriovial.seguridadvial.gov.ar/documentos/ops/relevamiento-deindicadores-estadisticos-en-materia-de-seguridad-vial-en-argentina.pdf>>

AGUDELO, Jhon Jairo. Diseño geométrico de vías ajustado al manual colombiano. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Vías y Transporte. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas, 2012, .80 p.

ASPRILLA, Yefer. REY, Eladio. MATURANA, Zamir. Influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas. Un estudio de caso. Bogotá D.C. Universidad Distrital. 2014.

CARDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de carreteras. Segunda edición. Bogotá. 2002. P.1.

CIFUENTES OSPINA, Nancy. Estudio de seguridad vial para determinar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad carretera Bogotá - Villavicencio a partir de la salida del túnel del Boquerón a puente Quetáme, Proyecto para optar al grado de magister en ingeniería civil. Bogotá D.C. Escuela colombiana de Ingeniería. 2014. 129 P.

CONCEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, república de Colombia, departamento nacional de planeación. Programa estratégico de autopistas CONPES 3612 del 2009 [Consultado el 8 de Septiembre de 2016]. <Disponible en internet: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Economicos/3612.pdf>>

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 769 del 6 de agosto de 2002, aparecida en el Diario Oficial número 44.893 del 7 de agosto de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. [Consultado el 22 de septiembre del 2016]. <Disponible en <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=181>>.

EL TIEMPO. BOGOTÁ. 16 DE SEPTIEMBRE. 2015. Artículo, Se acaba el fondo de prevención vial [Consultado el 8 de Septiembre de 2016]. <Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14085157>>

FONDO FINANCIERO DE PROYECTOS DE DESARROLLO, FONADE – ANI. Proyecto corredor 2 Bogotá – Villavicencio Sector 2.1 Bogotá - El Tablón. Informe Ejecutivo. 2014. P. 38.

GARCIA, Héctor. Estudio de la mejora de la seguridad vial en la carretera CV-415 entre los municipios de Picassent y Monserrat (P.K. 1+200 al P.K. 9+500). Tesis de maestría en transporte, territorio y urbanismo. Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. 128 P

GUZMÁN, Melissa. Análisis de seguridad vial de las zonas pobladas de cuatro tramos de la carretera IIRSA Norte. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú. 2015. 126 P.

HECHOS DE TRANSITO. Clasificación de los accidentes.[Consultado el 4 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://hechosdetransito.com/clasificacion-de-los-accidentes-de-transito>>.

HERRERA, Jhon Alexander y PULIDO, Félix Leonardo. Estudio de causas y efectos de la accidentalidad en las vías del departamento de Boyacá. Proyecto de grado – Metodología investigación. "Coordinada Fondo de Prevención Vial, Policía de Carreteras, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia". 2004. 19 P.

INGENIERÍA DE TRANSPORTES. Factores de los accidentes de tránsito. [Consultado el 21 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://ingenierodetransporte.blogspot.com/2009/09/factores-en-losaccidentes-de-transito.html>>

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES. Información estadística sobre violencia y accidentalidad en 2014. Bogotá: Junio de 2015. P. 353. [Consultado el 17 de febrero de 2016]. <http://www.medicinalegal.gov.co>

MARTINEZ, Ricardo y OLIVARES, Elber Ramiro. Metodología para la atención de puntos críticos para garantizar la seguridad vial en carreteras. Bogotá D.C. [Consultado el 25 de septiembre 2016]. <Disponible en

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/9928/2/MartinezGonzalezRicardo2012.pdf>>.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2016. [Consultado el 8 de Septiembre de 2016]. Disponible en Internet: <https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/Ministerio/Historia>>

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Manuales de Señalización Vial. [Consultado el 25 de septiembre 2016]. <Disponible en https://www.medellin.gov.co/movilidad/documents/seccion_senalizacion/cap1_aspectos_grales_senalizacion.pdf>.

ORTIZ, Mónica. RODRIGUEZ, Yecid. VILLAMIL Angelo. Evaluar la influencia de la construcción doble calzada Bogotá - Girardot en la accidentalidad actual en el tramo comprendido entre Silvania y Fusagasugá. Proyecto para optar al grado de ingeniería civil. Bogotá D.C. Universidad La Gran Colombia. 2016. 142 P.

PEREZ, Katherine. Road safety in Spain during the first decade of the 21st century. Septiembre –Octubre 2009, Paginas 359–361

SANCHEZ, Ricardo y WILMSMEIER, Gordon. Provisión de Infraestructura de transporte en América Latina: experiencia reciente y problemas observados. CEPAL, Santiago de Chile. 2005. P.10.

SECRETARIA DE MOVILIDAD DE BARRANQUILLA. Gestión de Infraestructura Vial y Cierre de Vías. [Consultado el 9 de Marzo de 2016]. <Disponible en internet:http://www.barranquilla.gov.co/movilidad/index.php?option=com_content&view=article&id=5507>

SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 1283 de 1996. [Consultado el 21 de septiembre de 2016]. <Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=12798>>.

TRANSPORTE 1UJCV. El transito promedio anual. [Consultado el 25 de octubre de 2016]. <Disponible en internet <http://transpote1ujcv.blogspot.com.co/2011/02/el-transito-promedio-diario-anual-tpda.html>>.

ANEXOS