

**ESTUDIO DE SEGURIDAD VIAL PARA DETERMINAR LA INCIDENCIA DEL
DISEÑO GEOMETRICO EN LA ACCIDENTALIDAD
CARRETERA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO A PARTIR DE LA SALIDA DEL
TÚNEL DE BOQUERÓN A PUENTE QUETAME**

Ing. NANCY CIFUENTES OSPINA

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
JULIO GARAVITO
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
ENFASIS EN TRÁNSITO Y TRANSPORTE. PROFUNDIZACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2014**

**ESTUDIO DE SEGURIDAD VIAL PARA DETERMINAR LA INCIDENCIA DEL
DISEÑO GEOMETRICO EN LA ACCIDENTALIDAD
CARRETERA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO A PARTIR DE LA SALIDA DEL
TÚNEL DE BOQUERÓN A PUENTE QUETAME**

Ing. NANCY CIFUENTES OSPINA

Tesis para optar al Grado de Magíster en Ingeniería Civil
Con énfasis en Tránsito y Transporte.
Línea de investigación: seguridad vial

Director:
M. Sc. JAMES CÁRDENAS GRISALES

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
JULIO GARAVITO
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
ENFASIS EN TRÁNSITO Y TRANSPORTE. PROFUNDIZACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2014**

Notas de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., Marzo de 2014

Dedico este trabajo:

A Dios primero que todo por su gran Amor

A mi Esposo y mi hijo por el apoyo recibido

A mis amigos por la colaboración recibida

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por esta oportunidad de vida y por darme la sabiduría para terminar este proyecto.

A mi Director de Trabajo de Grado : M. Sc. JAMES CÁRDENAS GRISALES por su orientación, dedicación y desempeño, lo cual contribuyo a realizar de manera efectiva esta investigación.

A cada uno de mis docentes, quienes me exigieron responsabilidad y compromiso

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por acogerme en su casa y abrir este espacio formativo tan importante en mi formación profesional

A todas las personas que de una u otra manera estuvieron allí para apoyar este proceso.

A todos mis amigos, compañeros de la Universidad que formaron parte de este camino, con los que compartí alegrías, esperanzas y sueños que hoy se hacen realidad.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
4. NATURALEZA DEL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD VIAL	21
4. MARCO TEORICO	21
4.1.1 Generalidades	21
4.1.2 Criterios de seguridad vial	21
4.1.3 Conceptos de seguridad vial	21
4.1.4 Accidente de transito	22
4.1.4.1 Causas de accidentes	22
4.1.4.2 Indicadores de accidentalidad	23
4.1.4.3 Infraestructura	25

4.1.5 Factores de transito considerados en la seguridad vía	52
4.1.5.1 Tipos de vehículos	52
4.1.5.2 Volumen de tránsito	53
4.1.5.3 Dispositivos de control	53
4.2 MARCO DE REFERENCIA	54
4.2.1 Generalidades	54
4.2.2 Antecedentes	54
4.3 MARCO LEGAL	57
4.3.1 A nivel nacional	57
4.3.1.1 Constitución Política de Colombia de 1991	57
4.3.1.2 La Ley 1503 del 29 de diciembre del 2011	58
4.3.1.3 Ley 769 de 2002	58
4.3.1.4 Código Nacional de Tránsito	59
4.3.1.5 Manual de Señalización Vial del 2004	60
4.3.1.6 Manual de Diseño Geométrico de Carreteras	60
4.3.1.7 Resolución 66/260	61
4.3.1.8 Ley 1450 del 2011	61
4.3.2 A nivel internacional	62
4.4 MARCO GEOGRÁFICO	62
4.4.1 Localización regional del tramo de estudio	62
4.4.2 Localización y características locales del tramo en estudio	66
4.4.2.1 Descripción actual del tramo en estudio	66

4.4.2.2 Descripción del estudio de tránsito actual	67
5. METODOLOGÍA	69
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	69
5.2 METODOLOGIA UTILIZADA	69
5.2.1 Datos de accidentalidad	69
5.2.2 Información de diseño geométrico	69
5.3 PROCEDIMIENTO	69
5.3.1 Visita de campo	69
5.3.2 Análisis de características geométricas de la carretera	70
5.3.3 Análisis de accidentalidad en la ruta de estudio	70
6. ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD EN LA RUTA DE ESTUDIO	72
6.1 INTRODUCCIÓN	72
6.1.1 Variación de la accidentalidad	72
6.1.2 Número de accidentes según la gravedad	73
6.1.3 Tipología de los accidentes	75
6.1.3.1 Factor Vehículo	75
6.1.3.2 Factor Humano	75
6.1.3.3 Factor vía y el entorno	76
6.1.3.4 Sentido de ruta de mayor accidentalidad	79
6.1.3.5 Accidentalidad del PR4+100 al PR45+00	80

6.1.3.6 Determinación de los accidentes con víctimas en la ruta de Estudio	82
6.1.3.7 Indicadores de accidentalidad por tramo y año	85
6.2 ANÁLISIS DE LA VÍA ACTUAL	90
6.2.1 Características del tramo PR 4+100 Peaje de Boquerón al PR12+300 Chipaque	93
6.2.2 Características del tramo PR12+300 Chipaque al PR26+00 Caqueza	96
6.2.3 Características del tramo PR26+000 Caqueza al PR44+750 Puente Quetame	100
6.3 ANÁLISIS DEL TRAZADO GEOMÉTRICO DE LA DOBLE CALZADA EN ETAPA DE DISEÑO	103
6.3.1 Introducción	103
6.3.2 Descripciones geométricas del proyecto en etapa de diseño	103
7. CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	125

LISTADO DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Causas de accidente de tránsito	23
Cuadro 2. Tipos de terreno según sus pendientes	28
Cuadro 3. Velocidad de diseño según tipo de carretera	30
Cuadro 4. Radios mínimos para peraltes máximos	32
Cuadro 5. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 6\%$ y fricción máxima	33
Cuadro 6. Distancias de visibilidad	36
Cuadro 7. Radios deflexiones entre alineamientos rectos	36
Cuadro 8. Pendientes máximas recomendadas	40
Cuadro 9. Coeficiente Angular (K) mínimo para curvas verticales	44
Cuadro 10. Ancho de vías recomendados	46
Cuadro 11. Clasificación de vehículos	53
Cuadro 12. Especificaciones de la vía actual vs la doble calzada	65
Cuadro 13. Obras de infraestructura proyecto doble calzada	65
Cuadro 14. Variación de la accidentalidad en vehículos	72
Cuadro 15. Accidentes en el tramo de estudio	74
Cuadro 16. Tipología de los accidentes en el tramo de estudio año 2012	78
Cuadro 17. Sentido de ruta de mayor accidentalidad en el tramo de estudio	79
Cuadro 18. Puntos críticos de accidentalidad en el tramo de estudio	81
Cuadro 19. Número de accidentes con víctimas en el tramo de estudio	83

Cuadro 20. Índice de peligrosidad de accidentes totales por tramo	85
Cuadro 21. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas por tramo	87
Cuadro 22. Índice de severidad por tramo	89
Cuadro 23. Descripciones del tramo PR4+100 a PR12+300	93
Cuadro 24. Descripciones del tramo PR 12+300 a PR26+00	97
Cuadro 25. Descripciones del tramo PR26+00 AL PR44+750	100
Cuadro 26. Características geométrica del diseño del PR34+900 A PR35+300	110
Cuadro 27. Características geométricas del diseño PR35+300 al PR35+800	113
Cuadro 28. Características geométricas del diseño PR36+530 a PR45+000	116

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Factores que contribuyen a la ocurrencia de un accidente	22
Figura 2. Desarrollo del peralte	34
Figura 3. Proceso para el diseño de zonas laterales	38
Figura 4. Esquema de zona despejada	39
Figura 5. Curva vertical convexa	41
Figura 6. Curva vertical cóncava	42
Figura 7. Ubicación de curvas verticales en planta y perfil	48
Figura 8. Ubicación de curvas verticales sucesivas	49
Figura 9. Transición de geometría en sitios con radios mínimos	50
Figura 10. Uso de curvas cóncavas	51
Figura 11. Curva vertical convexa de mayor longitud que la curvas cóncavas adyacentes	51
Figura 12. Localización general ruta de estudio	63
Figura 13. Localización tramo de estudio	67
Figura 14. Metodología del estudio	71
Figura 15. Variación de la accidentalidad	73
Figura 16. Número de accidentes según la gravedad	74
Figura 17. Tipología de los accidentes	78
Figura 18. Ruta de mayor accidentalidad	79

Figura 19. Puntos de accidentalidad del PR4+100 al PR45+00	82
Figura 20. Número de accidentes con víctimas por tramo de estudio	84
Figura 21. Índices de peligrosidad de accidentes totales por tramo	86
Figura 22. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas por tramo	88
Figura 23. Índice de severidad por tramo	90
Figura 24. Sección transversal típica de la vía existente	92
Figura 25 Estructuras Hidráulicas en borde de berma PR4+500	93
Figura 26. Señalización SP20 en el punto de intersección de Chipaque	96
Figura 27. Tramo de estudio en doble calzada PR 34+100 al PR45+00	104
Figura 28. Estudio del sector PR34+160 a PR35+300	108
Figura 29. Sección transversal PR35+110	109
Figura 30. Tramo en planta del PR35+300 al PR35+800	111
Figura 31. Tramo en perfil longitudinal del PR35+300 al PR35+800	112
Figura 32. Perfil transversal vía PR35+300	112
Figura 33. Tramo en planta PR36+530 al PR37+170	114
Figura 34. Perfil longitudinal desvio PR36+650 al PR37+100	115
Figura 35. Perfil transversal PR37+100	115
Figura 36. Perfil transversal del PR36+680	116

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Reporte de accidentalidad ANI-COVIANDES	126
Anexo B. Reporte de aforos	127
Anexo C. Planos de proyecto doble calzada	128
Anexo D. Informe del diseño geométrico tramo 1 y tramo. ANI	129

INTRODUCCIÓN

Los accidentes de carreteras son una de las causas principales de muerte de personas, es por esto que la seguridad vial con que cuente una vía es de gran importancia, ya que si esta es inadecuada puede llevar a que se presente un índice alto de accidentes con muertos y heridos, no solo en vehículos motorizados o no motorizadas, sino que contempla también los usuarios vulnerables que circulan por una vía.

Mejorar la seguridad vial en carreteras es una de las principales preocupaciones con las que se cuenta en los diferentes países. Considerando que los accidentes en carretera es la segunda causa de muerte a nivel mundial, se considera importante la revisión de los proyectos desde la etapa del diseño geométrico hasta la puesta en operación, para el mejoramiento de la infraestructura tanto en lo referente a problemas que se manifiestan en elevadas ocurrencias de accidentes, como a sitios con deficiencias en los que no hay manifestación de accidentes en un momento dado; pero que potencialmente pudiesen dar lugar a elevadas incidencias (enfoque preventivo).

El presente estudio muestra la relación entre la accidentalidad y el diseño geométrico de la carretera Bogotá- Villavicencio del tramo comprendido entre la salida del túnel de Boquerón al peaje de Puente Quetame, en etapa de operación y en diseño, para esto se implementaron listas de verificación en la considerando los parámetros de diseño geométrico del Manual de Diseño del INVIAS 2008 y los factores de seguridad preventivos para carreteras, lo cual es compatible con el enfoque que actualmente se aplica en las auditorías de seguridad vial, las cuales buscan detectar puntos críticos de accidentalidad vial.

La infraestructura vial es uno de los factores de accidentalidad con el 28%. Es por esto que la consistencia en el trazado de una carretera se relaciona con la conformidad de su geometría y la seguridad vial.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En el desarrollo de proyectos viales en Colombia en la última década, ha tenido un papel significativo la seguridad vial. Es así, que una parte fundamental para la seguridad de los usuarios de las vías es la supervisión técnica del proyecto desde su planeación hasta la etapa de operación, la cual contribuye a una mejora en la calidad de los proyectos para ofrecer un servicio donde el usuario se sienta seguro.

La investigación se basa en realizar un estudio de auditoría vial sobre la incidencia que tiene el diseño geométrico en la accidentalidad en la carretera de Bogotá-Villavicencio a partir de la salida del Túnel de Boquerón a Puente Quetame, durante la etapa de operación en la situación actual y de diseño en la situación futura, considerando que en el tiempo en que se diseñó y construyó no se le daba la suficiente importancia y no se tenía una normativa clara en seguridad vial.

Con el aumento del parque automotor, en vehículos cada vez más modernos, potentes y veloces, circulando por las mismas carreteras construidas ya hace muchos años, el aumento en la accidentalidad era de esperarse; aunado a la circulación de vehículos en malas condiciones mecánicas, lo que ha empeorado la situación. En este orden de ideas, la seguridad vial es un requerimiento necesario a considerar en el diseño, construcción y operación de las carreteras.

Según las estadísticas del Fondo de Prevención Vial, en Colombia, las causas por muerte en accidentes de tránsito han venido creciendo, los cuales tienen costos equivalentes a un punto del PIB. Los accidentes de tránsito son problemas que son factibles resolver si se tienen en cuenta los factores que los producen y uno de estos es la infraestructura, la cual, como se mencionó anteriormente, debe ser segura para el usuario y en la cual se puede tener injerencia desde la concepción de la carretera.

Una de las estrategias aplicadas en la reducción de accidentes son las Auditorías de Seguridad Vial (ASV), las cuales se pueden definir como “la utilización de métodos y protocolos sistemáticos y rigurosos con fines eminentemente

preventivos, que permiten verificar el cumplimiento de todos los aspectos involucrados en la seguridad de las vías”¹

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a lo anterior la pregunta de la investigación a desarrollar es:

¿Cuál es la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad de la carretera Bogotá-Villavicencio en el tramo comprendido entre el Túnel de Boquerón a la población de Puente Quetame en la etapa de operación y diseño?

Preguntas derivadas:

¿Cómo realizar un diagnóstico de normatividad en Seguridad Vial internacional para el control de accidentes?

¿Cómo determinar el nivel de Seguridad Vial en la carretera Bogotá-Villavicencio?

¿Cómo establecer un análisis de riesgo en la carretera Bogotá –Villavicencio a partir de las Auditorias de Seguridad Vial?

¹. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C. SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE, CAL MAYOR Y ASOCIADOS, S.C. Manual de auditorias en seguridad vial. Bogotá: 2005 [Consultado el 11 de julio de 2013]. <Disponible en Internet: <http://transito.worldtrainingcolombia.com/pdf/MASV.pdf>

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la infraestructura vial del país se constituye como la principal estrategia para el fortalecimiento de la competitividad nacional, a través de la construcción de carreteras que permiten la movilidad de transporte de carga de comercio exterior y que conectan los principales centros de producción y consumo con los puertos marítimos.

Por ser las vías terrestres el principal medio de comunicación entre las regiones, se debe considerar en las etapas de diseño, construcción y operación que se cumplan con las condiciones de seguridad vial.

Los accidentes viales, a nivel mundial, se han convertido en una prioridad por su relación con la problemática en salud pública y uno de los grandes problemas en el país debido a las lesiones ocasionadas por éstos. Según estadísticas del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses en Colombia, la segunda causa de muerte, después de los homicidios, son los accidentes viales, en el año 2012, se presentaron con un 23% correspondiente a 5.304 muertes y con un 26% correspondiente a 33.564 a lesiones no fatales². Es así que los accidentes de tránsito se convierten en uno de las primeras causales de mortalidad, afectando de otro lado el presupuesto de salud por el costo elevado de los tratamientos de los heridos y adicionalmente los daños sociales y materiales que alcanzan también costos significativos en la economía.

Por ser la accidentalidad un problema a nivel nacional se hace necesario tomar medidas para estudiar el fenómeno y causa de accidentalidad vial en Colombia, y así desarrollar medios de prevención desde la etapa de planeación, del diseño, construcción y operación, para los usuarios de las carreteras

La ruta Bogotá Villavicencio, muestra una gran afluencia de vehículos automotores conformados por camiones, buses y automóviles, siendo una de las principales rutas por donde se hace la circulación de la mayor parte de la carga del país y donde la accidentalidad en el tramo de estudio por la geometría de la vía alcanza

² INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES. Accidentes de tránsito: segunda causa de muerte violenta en el año 2012. Bogotá D.C: , 2013. [Consultado el 17 de junio de 2013]. Disponible en Internet <http://www.medicinalegal.gov.co/index.php/component/search/accide?searchphrase=any&ordering=newest&limit=50&lang=es>

una gran problemática y amerita un estudio sobre la incidencia que tiene el diseño geométrico en la accidentalidad, para así tomar medidas preventivas en los puntos críticos y en los diseños identificar con antelación los posibles riesgos de accidentalidad y realizar sugerencias para mejorar la seguridad vial.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad vial a partir de un modelo de auditoria de seguridad vial en la carretera Bogotá-Villavicencio en el tramo comprendido entre el Túnel de Boquerón a Puente Quetame, en la etapa de operación en el tramo existente y en etapa del diseño propuesto actualmente.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los puntos críticos de accidentalidad a partir de la observación de los comportamientos operacionales.
- Revisar las características geométricas de la carretera en la etapa de operación y diseño de acuerdo a especificaciones técnicas.
- Realizar un análisis estadístico de la accidentalidad en la vía objeto de estudio, indicando el tipo accidente.
- Evaluar el riesgo de accidentalidad en la carretera de estudio en la etapa de operación y diseño.

4. NATURALEZA DEL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD VIAL

4. MARCO TEORICO

4.1.1 Generalidades. Los accidentes en las vías tienen que ver con factores como el usuario, el vehículo y la infraestructura. Cuando se realiza un proyecto vial, cada uno de estos factores debe estar involucrado en las fases de planificación, diseño, construcción e implementación para aumentar la seguridad y minimizar el riesgo de accidentes.

Por lo anterior, se hace necesario supervisar cada una de las etapas para evitar el riesgo de accidentes. Cuando la carretera se encuentra en operación, es indispensable contar con una estadística de accidentalidad para identificar puntos que presenten un riesgo elevado de accidente, y así determinar el problema e implementar mecanismos para mejorar la seguridad.

En el presente capítulo se identificarán los términos utilizados en el estudio para determinar el grado de seguridad de la carretera Bogotá-Villavicencio, en el tramo de la salida del túnel de Boquerón y Puente Quetame en etapa de operación y diseño.

4.1.2 Criterios de seguridad vial. La seguridad vial, se puede definir como la descripción de una situación futura deseable, fundamentada en una teoría de cómo interactúan o deberían interactuar los distintos componentes del sistema del circulación.

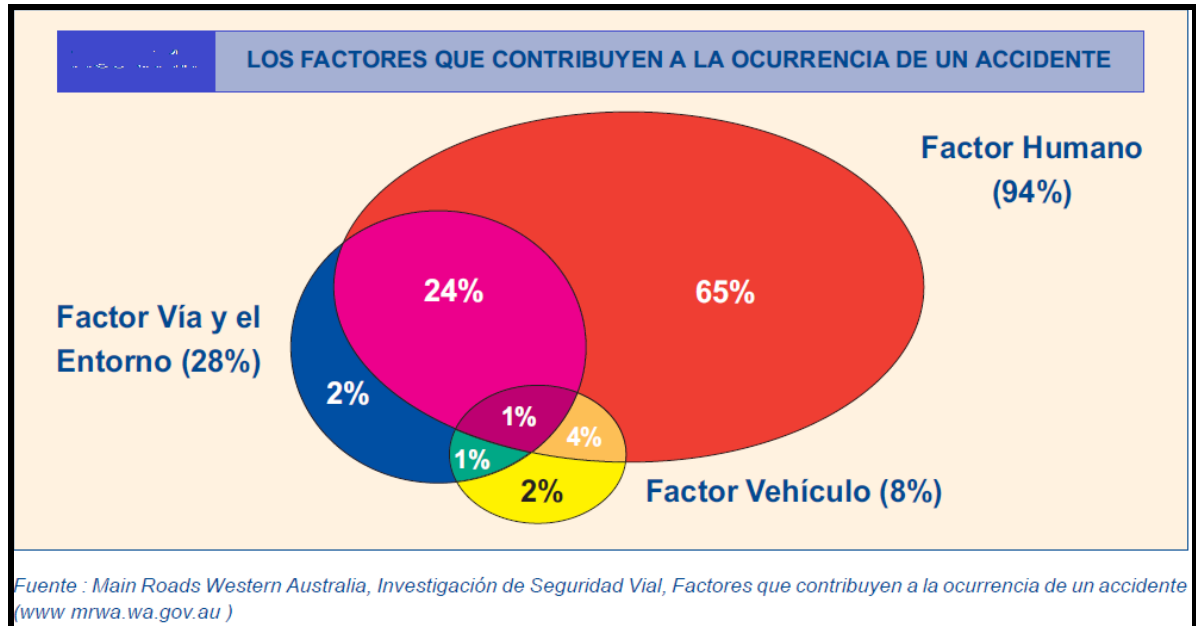
4.1.3 Conceptos de seguridad vial. Los elementos que contribuyen, en forma individual o en conjunto a la ocurrencia de accidentes de tránsito son: el factor humano, el vehículo, y la vía y el entorno.

Según estudios, se ha demostrado que los factores mencionados, estadísticamente representan los siguientes porcentajes:

- Factor Humano (implicado en alrededor del 94% de los accidentes)
- Factor vehículo (implicado en alrededor del 8% de los accidentes)

- Factor vía y el entorno (implicado en el 28% de los accidentes)

Figura 1. Factores que contribuyen a la ocurrencia de un accidente



4.1.4 Accidente de tránsito. Los accidentes de tránsito son tema de estudio de la Organización Mundial de la Salud. Según la Ley 769 de 2002³, un accidente de tránsito, es todo evento, generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él. En el concepto de seguridad vial un accidente de tránsito, es resultado de la orientación e incidencia de cada uno de los componentes del contexto y del sentido que el actor le da a cada uno de sus elementos, que en última instancia terminaría configurando la situación de riesgo de la accidentalidad vial de la ciudad.⁴

4.1.4.1 Causas de accidentes. En el “Estudio para el Análisis de Alternativas Tecnológicas para Vehículos de Transporte Urbano Colectivo que hacen parte del Programa de Reposición del Parque Automotor”; clasifica las causas de los accidentes urbanos de tránsito en cuatro categorías:

³ CONGRESO DE COLOMBIA. LEY 769 DE 2002 (Agosto 6). "Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones". Bogotá D.C. Diario Oficial. 44893 del 7 de agosto de 2002.

⁴ ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C. SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE, CAL MAYOR Y ASOCIADOS, S.C. Op. cit. .

- Fallas técnicas del vehículo
- Deficiencias en la infraestructura
- Fallas de tipo operacional
- Errores de tipo humano

De acuerdo a lo anterior se puede evidenciar en el cuadro 1, el porcentaje de la relación de los factores de la causa de accidentes

Cuadro 1. Causas de accidente de tránsito

Causa	porcentaje
Sólo factor humano	65,0%
Factor humano + vía	24,0%
Factor Humano +vehículo	4,5%
Factor humano+ vía+ vehículo	1,2%
Sólo factores viales	2,5%
Factores viales + vehículos	0,3%
Sólo factores del vehículo	2,5%

Fuente: Centro De Diagnóstico Automotor Del Valle

Según lo evidenciado en el Cuadro 1, se puede indicar que la vía tiene incidencia en causas de accidentalidad, lo cual hace importante establecer los elementos del diseño geométrico que influyen en los accidentes de carretera.

4.1.4.2 Indicadores de accidentalidad⁵. Los indicadores de accidentalidad permiten medir el peligro de una carretera considerando el número de accidentes y el volumen de vehículos que circulan por un determinado tramo de carretera.

⁵ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, SECRETARIA DE TRANSITO, CAL y MAYOR ASOCIADOS Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005.

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.

$$IPat = (10^8 \cdot N) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad (1)$$

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.

$$IPav = (10^8 \cdot Nv) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad (2)$$

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.

$$IS = 10^8 ((9 \cdot AF) + (1,5 \cdot AS) + ASimp) \quad (3)$$

Dónde:

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:

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

4.1.4.3 Infraestructura. La infraestructura vial es el elemento principal para movilización de todo el sistema de transporte terrestre. “Se puede definir como las instalaciones, servicios y medios básicos que son necesarios para el funcionamiento del transporte por autopistas, carreteras y calles. En la infraestructura vial se debe considerar el uso de los terrenos y la planificación de la red, la (re)construcción y diseño de secciones e intersecciones de carreteras, la señalización vertical y horizontal y el mantenimiento”⁶.

La clasificación de las carreteras es el requisito previo a considerar en un diseño, debido a que identifican el uso y provocan la conducta deseada del tráfico. Esto permite aumentar la coherencia entre la seguridad y el diseño de la red vial.

Para las consideraciones de un diseño de carretera seguro, se contempla el Manual de Diseño Geométrico y el Manual de Señalización.

Se puede considerar dos requisitos fundamentales para un diseño seguro:⁷

- Las características de diseño han de ser coherentes con la función de la carretera y los requisitos de comportamiento (por ejemplo la velocidad);
- Las características de diseño han de ser uniformes a lo largo de un tramo de carretera concreto.

⁶ KURATORIUM FÜR VERKEHRSSICHERHEIT KFV. Mejores prácticas de seguridad vial. 2007.. p. 9 [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/supreme_c_es.pdf

⁷ *Ibíd.* p. 11

❖ *Diseño geométrico*

En todo proyecto de infraestructura vial de una carretera, el estudio más importante es el diseño geométrico ya que a partir de éste se “establece su configuración geométrica tridimensional con el propósito que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente”⁸

Para la consideración de los requisitos del diseño geométrico de una carretera, se hace necesario tener en cuenta la determinación de factores externos o internos.

Entre los factores externos se pueden relacionar aspectos propios del lugar del trazado de la carretera, como lo son la topografía, la geología, la geotécnica, la climatología e hidrología, las características del tránsito actual y futuro, los planes de desarrollo de la zonas y los parámetros socioeconómicos.

Los factores internos son los que tienen que ver con las características propias del diseño de la carretera como: la velocidad, efectos operacionales de la geometría especialmente los que estén vinculados con la seguridad y los relacionados con la estética y armonía de la solución.

Por lo anterior la carretera en estudio en etapa de operación y diseño se tendrá en cuenta entre los factores externos, el tránsito y en los factores internos se considerarán las velocidades y la geometría de la vía para la determinación del riesgo de accidentalidad.

❖ *Factores del Diseño Geométrico para carreteras implicados en la accidentalidad*

- Clasificación de las carreteras. Según el manual de Diseño Geométrico las carreteras en Colombia se clasifican según:

⁸ CÁRDENAS GRISALES James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá. ECOE, 2005.

a. *Competencia.* La competencia de la carretera se puede determinar de acuerdo a quien está encargado de la operación y el mantenimiento. Estas se pueden clasificar en:

- Nacionales
- Departamentales
- Veredales o vecinales,
- Distritales y municipales.
- Actualmente se pueden considerar las carreteras concesionadas.

b. *Características.* Las características de las carreteras están relacionadas con el número de carriles que la conforman. Entre esta clasificación se pueden mencionar:

- Autopistas
- Carreteras Multicarriles
- Carretera de dos carriles

La carretera Bogotá- Villavicencio, en el tramo de estudio Túnel de Boquerón hasta Puente Quetame corresponde a una carretera dos carriles, la cual está definida como “calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y acceso directo desde sus márgenes”. (GRISALES, 2005)

c. *Funcionalidad.* La funcionalidad es la determinada según la necesidad operacional o el interés de la nación en sus diferentes niveles las cuales pueden ser:

- Carreteras principales o de primer Orden

- Carreteras Secundarias o de Segundo Orden

- Carreteras Terciarias o de Tercer Orden.

La carretera Bogotá- Villavicencio corresponde a una carretera principal o de primer orden, las cuales están definidas en el manual De Diseño Geométrico como: las 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.

d. *Tipo de terreno.* El tipo de terreno es determinado por la topografía predominante en el tramo en estudio, pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno los cuales pueden ser carreteras en terreno: plano, ondulado, montañoso y escarpado.

Cuadro 2. Tipos de terreno según sus pendientes

Tipo de terreno	Pendientes longitudinales	Pendientes transversales	CARACTERÍSTICAS
Plano	Entre 0% y 3%	$\leq 5^\circ$	Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. La combinación de alineamientos horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.
Ondulado	Entre 3% y 6%	Entre 6° y 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. Baja velocidades en los vehículos pesados sin presentar velocidad sostenida por pendientes ascendentes.
Montañoso	Entre 6% y 8%	Entre 13° y 40°	Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en pendientes ascendentes durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.
Escarpado	$\geq 8\%$	$\geq (40^\circ)$.	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.

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual De Diseño Geométrico de carreteras. Bogotá. 2008.

La carretera Bogotá – Villavicencio, en el tramo de estudio, salida del túnel de Boquerón hasta Puente Quetame, y de acuerdo a las características geométricas establecidas en el Cuadro 2, se puede considerar que corresponde a un terreno escarpado, de acuerdo a las características de diseño de la carretera dada en el mismo Cuadro.

- *Velocidad.* La velocidad es considerada como el principal factor de riesgo grave en las carreteras, ocasionando accidentes de tránsito.

En el diseño de una carretera la velocidad, se utiliza como parámetro de cálculo para las características geométricas de un diseño. Ésta debe garantizar un equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, para su seguridad.

En el proyecto de una carretera, debido a las condiciones topográficas, importancia de la carretera, volúmenes de tránsito, de las consideraciones ambientales, de la homogeneidad, facilidades de acceso, se pueden asignar valores de velocidad que sean seguras para el usuario. Esta velocidad utilizada en los diseños se denomina Velocidad de Diseño.

La Velocidad de Diseño definida como “la velocidad guía o velocidad de referencia que permite definir las característica geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad”⁹

De acuerdo al Cuadro 3, ubicando el tramo en estudio a las características del terreno escarpado, las velocidades posibles serían de 60 a 80 km/hora, y las características del diseño de la vía actual, presenta velocidades de 20 a 30 km/hora, por lo tanto se hace necesario medir la velocidades para determinar el riesgo de accidentalidad en los puntos críticos.

⁹ CÁRDENAS GRISALES , Op. cit. p. 6

Cuadro 3. Velocidad de diseño según tipo de carretera

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO (km/hora)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Carretera principal de dos calzadas	plano										
	ondulado										
	montañoso										
	escarpado										
Carretera principal de una calzada	plano										
	ondulado										
	montañoso										
	escarpado										
Carretera secundaria	plano										
	ondulado										
	montañoso										
	escarpado										
Carretera terciaria	plano										
	ondulado										
	montañoso										
	escarpado										

Fuente. Instituto Nacional de Invias. Manual para Diseño Geométrico para Carreteras. Capítulo 2.

Para la determinación de la velocidad como un factor de accidentalidad en una carretera se hace necesario determinar las siguientes velocidades:

- *Velocidad real de circulación.* La velocidad real, es aquella que circulan realmente los vehículos. Está estrechamente relacionada con la accidentalidad¹⁰
- *Velocidad límite de circulación o velocidad crítica.* La velocidad límite de circulación está dada por los parámetros de diseño geométrico y se establece con el percentil 85, el cual establece el límite máximo de velocidad, que debe estar en conexión con los dispositivos de control del tránsito que la deben restringir.

Velocidad real > velocidad limite (alto grado de accidentalidad)

❖ *Criterios de diseño geométrico en planta*

- **Curvas Circulares.** En el diseño geométrico la relación entre la velocidad y la curvatura, es considera para proporcionar seguridad, eficiencia y tener un

¹⁰ *Ibíd.*, p.6.

diseño balanceado¹¹.

Las curvas horizontales son definidas por el radio en metros y el ángulo de curvatura medido en grados entre las secciones rectas que unen estas curvas llamadas entre tangencias, estos componentes son fáciles de medir y así estudiar el riesgo de accidente.

La velocidad de un vehículo en una curva horizontal, debe permitirle recorrerla con seguridad y comodidad. En un diseño los accidentes en una curva horizontal determinada, en condiciones normales de operación, pueden ocasionarse por:¹²

- Una velocidad excesiva.
- Un inadecuado peralte.
- Un pavimento liso.
- La combinación de varios de estos elementos.
- *Peraltes (e)*. El peralte es la pendiente transversal que se da en las curvas en la plataforma de una carretera con el fin de compensar las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva.

Los peraltes en carreteras primarias y secundarias, establecidos en el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS (2008), como es el caso de la ruta Bogotá-Villavicencio se establece como peralte máximo ocho por ciento (8%), el cual permite no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores, especialmente a los vehículos con centro de gravedad muy alto y a los vehículos articulados (tracto – camión con remolque) los cuales pueden tener

¹¹ *Ibíd.*, p.33

¹² CÁRDENAS GRISALES., James. Conferencia diseño geométrico de vías y la seguridad vial. Mayo 6 al 11 y de Junio 17 al 22 de 2013. Cali: Universidad del Valle. Ciudad Universitaria Meléndez.

un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con peraltes muy altos.

En el Cuadro 4 y Cuadro 5 se representa la velocidad específica (V_{CH}), y el radio mínimo para peraltes del 8 y 6 %, se considera para la vía en estudio los radios a considerar como mínimos para peraltes del 6%, velocidad de 50 km/h un radio de 79 m y para peraltes de 8% con velocidad de 50 km/h, radio de 73m; parámetros considerados en las especificaciones de diseño actual de la carretera.

Cuadro 4. Radios mínimos para peraltes máximos

VELOCIDAD ESPECIFICA (V_{CH}) (Km/h)	PERALTE MÁXIMO (%) $e_{máx}$	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{máx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
			CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	40,6	41
50	8,0	0,19	72,9	73
60	8,0	0,17	113,4	113
70	8,0	0,15	167,8	168
80	8,0	0,14	229,10	229
90	8,0	0,13	303,7	304
100	8,0	0,12	393,7	394
110	8,0	0,11	501,5	501
120	8,0	0,09	667,0	667
130	8,0	0,08	831,7	832

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

Cuadro 5. Radios mínimos para peralte máximo $e_{\text{máx}} = 6 \%$ y fricción máxima

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

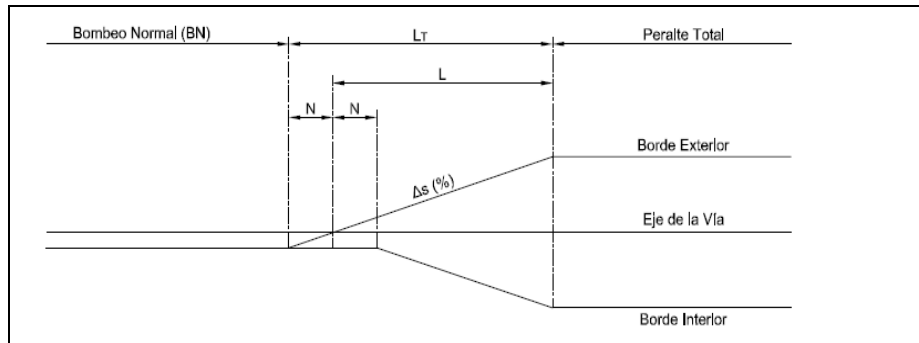
Fuente. Instituto Nacional de Invías. Manual para Diseño Geométrico para Carreteras.

- *Transición del peraltado.* La transición de un peralte consiste en pasar de una sección transversal con bombeo normal a otra con peralte, para lo cual se hace necesario realizar un cambio gradual de inclinación de la calzada a lo largo de carretera entre este par de secciones.

De acuerdo con la Figura 2, la longitud de transición se considera a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva. La longitud de transición está constituida por dos tramos principales: 1) la distancia (N) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamado aplanamiento y 2) la distancia (L) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular¹³.

¹³ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, SECRETARIA DE TRANSITO, CAL y MAYOR ASOCIADOS Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte, Op. cit., p. 38

Figura 2. Desarrollo del peralte



Fuente: Manual de Diseño Geométrico Inviás 2008

- Curvas con problemas de peralte. El radio mínimo de las curvas sin peralte (o en contra peralte), en función de la velocidad y está determinada por la ecuación (5):

$$R_{min} = \frac{v^2}{1.9} \quad (5)$$

R_{min} : Radio mínimo

v :Velocidad

- Entretangencia horizontal¹⁴
 - Curvas de diferentes sentidos: para curva circulares de diferentes sentido, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente máxima para rampa de peraltes y por la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos a la menor de las Velocidades Específicas (VCH) de las curvas adyacentes a la entretangencia en estudio.
 - Curvas del mismo sentido. las curvas del mismo sentido, dan inseguridad y se deben evitar en cualquier proyector de carretera, cuando sea posible se deben reemplazar por una sola curva que las envuelva. En el caso del diseño con curvas espirales, la entretangencia no puede ser menor a la distancia recorrida

¹⁴ Ibíd.

en un tiempo de 5 segundos a la velocidad específica de la entretangencia vertical (VCH).

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico del Invia, la entretangencia entre curvas de igual sentido como de diferente sentido, debe ser lo suficientemente larga que permitan cumplir con distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a), en caso que se excedan se hace necesario que la longitud máxima de la recta no sea superior a quince (15) veces la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}), expresada en Kilómetro por hora (Km/h).

- Distancias de visibilidad en carreteras
 - Distancia de visibilidad. Es una de las características a considerar en el diseño de una carretera. Es definida como la longitud continua de la carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella¹⁵.

En la seguridad de una carretera esta distancia de visibilidad permite que los conductores de un vehículo puedan realizar maniobras y conservar su velocidad ante la presencia de obstáculos fijos o móviles que se encuentran cuando están circulando por una carretera.

Las distancias de visibilidad en curvas horizontales están en relación con el radio de giro de los vehículos y tipo de vehículo.

- Distancia de visibilidad de parada: en los diseños geométricos se debe considerar la distancia de visibilidad de parada (D_p), y es aquella que permite que un conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la velocidad de diseño, pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo fijo que aparezca en su trayectoria.¹⁶

Según el cuadro 6, se presenta las distancias de visibilidad de parada, en el tramo en estudio se consideraran las velocidades de 20-30 km/hora, en el estado actual y de 80 Km/ hora en la etapa de diseño según lo estipulado en las especificaciones de diseño de la vía actual vs la doble calzada.

¹⁵ CÁRDENAS GRISALES. Diseño Geométrico de Carreteras. Op. cit. p 313

¹⁶ *Ibíd.*, p.313

Cuadro 6. Distancias de visibilidad

Velocidades de diseño Vd (km/h)	Distancia durante la percepción y reacción (m)	Distancia durante el frenado (m)	Distancia de visibilidad de parada Dp (m)	
			Calculada	redondeada
20	13,9	4,6	18,5	20
30	20,9	10,3	31,2	35
40	27,8	18,4	46,2	50
50	34,8	28,7	63,5	65
60	41,7	41,3	83	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

Fuente. Manual de Diseño Geométrico Inviás 2008

- Longitud máxima de las curvas horizontales¹⁷. Para ángulos de deflexión entre tangentes menores o iguales a seis grados (6°), en el caso de que no se puedan evitar, se realizará la unión de las mismas mediante una curva circular simple. Curvas circulares con longitudes demasiado cortas que generan una defectuosa apariencia de la vía y producen la sensación de quiebre forzado entre dos alineamientos rectos.

En el Cuadro 7 se enuncian los radios mínimos para deflexiones pequeñas, para lo cual se hace necesario realizar el estudio de los radios mínimos.

Cuadro 7. Radios deflexiones entre alineamientos rectos

Ángulo entre alineamientos	6°	5°	4°	3°	2°
Radio mínimo (m)	2000	2500	3500	5500	9000

Fuente. Manual de Diseño Geométrico Inviás 2008

- Zonas laterales¹⁸. Las zona lateral de una vía es aquella zona ubicada fuera del área de circulación vehicular, comprendida entre el extremo exterior de la berma y el límite del derecho de vía, que incluye las bermas, los terrenos colindantes, los separadores no pavimentados, las instalaciones auxiliares

¹⁷ Ibíd.

¹⁸ HOF CONSULTORES S.A.S. Guía Técnica para el diseño de las Zonas Laterales, para vías más seguras. Bogotá: Fondo de Prevención Vial, 2012. p. 33

como son las áreas de descanso, parqueaderos, miradores, instalaciones para peatones y ciclistas, y las instalaciones para el manejo del agua superficial.

Las zonas laterales en la carretera son los lugares más utilizados para combinar las instalaciones para el tránsito y la movilización de la población con el ambiente natural del lugar y con las áreas construidas en dichos espacios y esta debe proporcionarles seguridad a los usuarios de la vía.

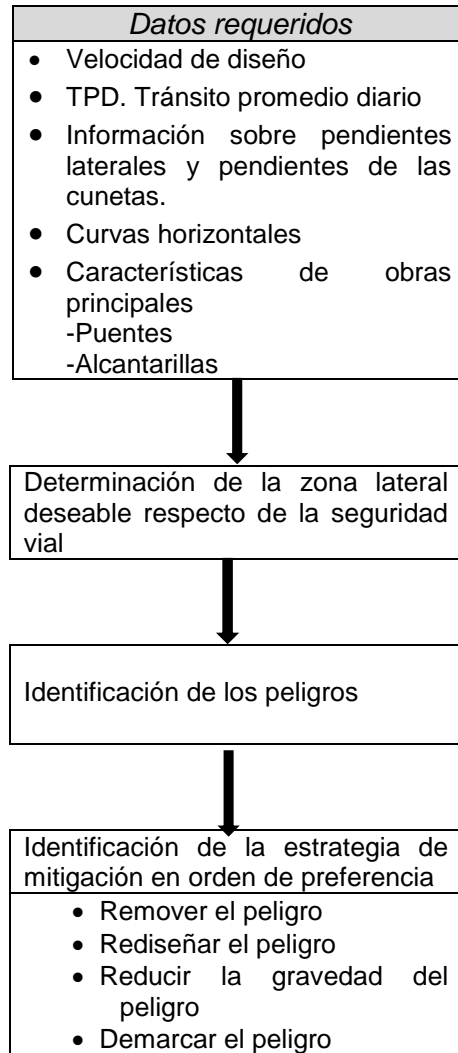
Bases para el diseño y tratamiento de las zonas laterales. Se debe identificar en el diseño la identificación de objetos que indiquen un potencial de riesgo de accidente al borde la carretera.

La información previa a considerar para el diseño de las zonas laterales son:

- Valoración de la probabilidad y gravedad de los accidentes en la carretera.
- Valoración del riesgo de ocurrencia de accidentes por presencia de obstáculos o elementos de la vía cuando los vehículos se salen de esta.
- Identificación de los elementos potencialmente peligrosos en las zona exterior y se realiza por inspección de campo.

En la Figura 3 se presenta el proceso para diseño de la zona lateral de las carreteras que minimice los riesgos de accidente para los usuarios.

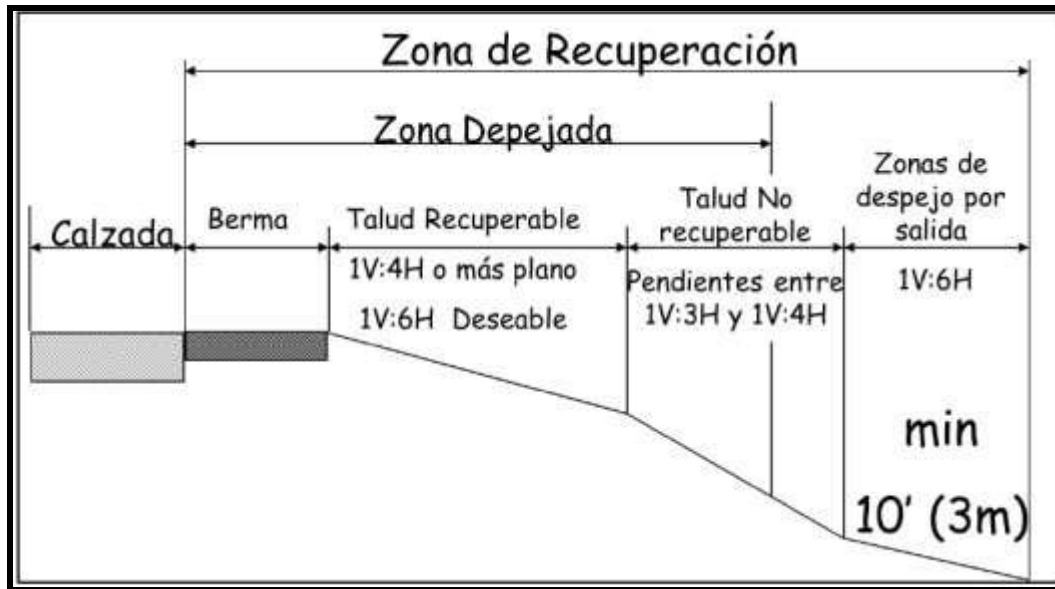
Figura 3. Proceso para el diseño de zonas laterales



Fuente: Guía Técnica para el diseño de las Zonas Laterales, para vías más seguras

Una zona lateral segura es definida por La Roadside Design Guide de la AASTHO (RDG), como se ilustra en la Figura 4, la zona despejada traspasable que comienza en el borde exterior de la calzada, incluyendo la berma y se extiende lateralmente una distancia suficiente para permitir que un vehículo errante pueda detenerse o retomar su trayectoria antes de impactar con un objeto o volcarse. Este espacio también se conoce como zona libre.

Figura 4. Esquema de zona despejada



Fuente: AASHTO "Roadside Design Guide". Washington – Usa 3rd Edition 2006

En los diseños de carreteras se deben considerar las zonas laterales revisando de antemano la topografía de la vía la cual influye en muchos de los casos que estas zonas no se consideren; pero en donde los terrenos planos donde la velocidad de diseño supera los 60 km/h, se deben tener en cuenta.

- Consideraciones en el diseño vertical. En el diseño geométrico de una carretera se debe considerar el trazado en vertical de la misma, o alineamiento en perfil, el cual representa la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo.

En el perfil del terreno se traza la rasante o subrasante de la carretera, el cual muestra la longitud real de la vía.

El eje del alineamiento vertical a proyectar esta en relación con la topografía del terreno natural y está constituido por:

- Tangente vertical. Para efectos de seguridad en la carretera se considera la pendiente máxima. La selección de la pendiente máxima de una tangente en vertical, está en función de la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}), de la topografía montañosa o escarpado y de la categoría de la carretera a diseñar. En el cuadro 8 se indican los valores de la pendiente máxima permitida.

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico del Invias del 2008:

Los valores anteriores, pueden ser aumentados en 2%, cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa. Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el principio de tangente vertical (PTV) de la curva anterior coincide con el principio de curva vertical (PCV) de la siguiente¹⁹.

Cuadro 8. Pendientes máximas recomendadas

Categoría de la carretera	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas						6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada					8	7	6	6	5	5	5	
Secundaria			10	9	8	7	6	6	6			
Terciaria	14	12	10	10	10							

Fuente. Manual de Diseño Geométrico Invias 2008

De acuerdo al Cuadro 8 las velocidades son menores a media que la pendiente aumenta. En el tramo en estudio la pendiente actual de la vía es de 13,5% la cual indicaría que su velocidad es entre 30 y 40 Km/h, con el diseño planeado actualmente con una pendiente aproximada de 4,5% la velocidad estaría en 80 Km/h.

- Curvas verticales. La curva vertical es elemento del diseño geométrico trazado en perfil que enlaza dos tangentes verticales consecutivas, de tal forma que en su longitud se efectúe el cambio gradual de la pendiente de la tangente de

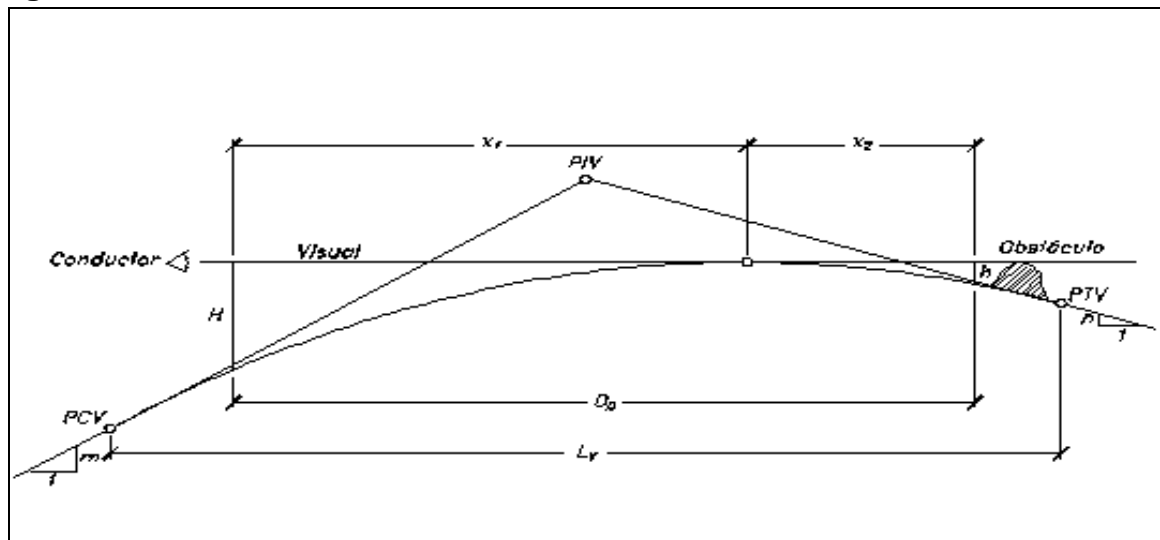
¹⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. INVIAS. Op. cit. p. 37

entrada y la pendiente de tangente de salida, para garantizar una operación vehicular segura y confortable e igualmente debe tener apariencia agradable y condiciones de drenaje adecuado.

- Tipos de curvas verticales. Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales cóncavas y convexas y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas.

En la Figura 5 se identifica la curva vertical convexa, donde se consideran las diferentes variables a tener en cuenta para su diseño: como la visual del conductor con respecto a la observación de un obstáculo, la longitud de la curva vertical, distancia de parada y las pendientes de las tangentes.

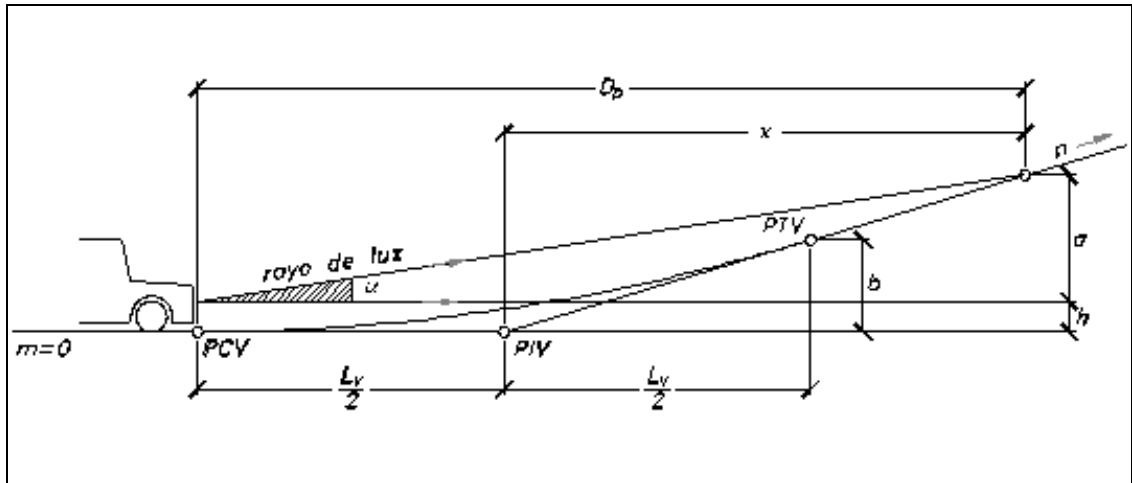
Figura 5. Curva vertical convexa



Fuente: Cárdenas Grisales James. Diseño Geométrico de Carreteras. Editorial Ecoe. Bogotá. 2013

La curva vertical cóncava que se presenta en la Figura 6, en la cual se deben considerar la longitud de la curva vertical, la altura del rayo de luz de la visual del conductor.

Figura 6. Curva vertical cóncava



Fuente: Cárdenas Grisales James. Diseño Geométrico de Carreteras. Editorial Ecoe. Bogotá. 2013

Las curvas verticales son importantes para establecer en un diseño la determinación de la distancia de parada ante la presencia de obstáculos en la vía.

L_v : Longitud de la curva vertical

D_p : Distancia de parada

PCV: Principio de curva vertical

PTV: Principio de tangente vertical

H : Altura del ojo del conductor

h : Altura de las luces delanteras

La longitud de la curva verticales simétrica y asimétricas así sea convexas o cóncavas en su diseño se deben considerar criterios de seguridad, operación y drenaje. A demás de los anteriores criterios la longitud la curva debe permitir la variación gradual de la pendiente de entrada hasta la tangente de salida evitando los cambios bruscos en la curvatura y satisfaciendo los requisitos de visibilidad de parada denominado criterio de seguridad.

El criterio de seguridad en las curvas convexas y cóncavas está dado por la expresión (6)

$$D_p = 0.695V_e + V_e^2/87.18 \quad (6)$$

D_p Distancia de Parada

V_e : Velocidad específica

Para la seguridad en la operación en las curvas verticales se hace necesario considerar el coeficiente angular (K) para el control de las distancias de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de seguridad, como se ilustra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Coeficiente Angular (K) mínimo para curvas verticales

VELOCIDAD ESPECÍFICA CURVA VERTICAL V_{cv} (km/h)	VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m)	COEFICIENTE ANGULAR MÍNIMO K	
		CURVAS VERTICALES CONVEXAS	CURVAS VERTICALES CONCAVAS
20	20	1	3
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38
100	185	52	45
110	220	74	55
120	250	95	63
130	285	124	73

Fuente. Manual de Diseño Geométrico Invias 2008

De acuerdo al cuadro anterior en el tramo de estudio se debe verificar el cumplimiento de las distancias de visibilidad de parada, la cual va variando de acuerdo a la velocidad y el coeficiente angular es determinante para el cálculo de la longitud de la curva vertical.

$$L = KA \quad (7)$$

$$A = m - n$$

L : Longitud de la curva vertical

K : Coeficiente angular de curva vertical

A : Diferencia entre la pendiente de entrada y salida

m : Pendiente de entrada

n : Pendiente de salida

❖ *Diseño geométrico de la sección transversal.* El diseño transversal de una carretera consiste en la ubicación y dimensión de los elementos que conforman la carretera y su relación con el terreno natural, sobre cada punto de ésta en una sección normal al eje de alineamiento horizontal.

Los elementos a considerar en la sección transversal son:

- Ancho de zona o derecho de vía.
- Ancho de la banca o plataforma
- La corona
- La calzada o superficie de rodamiento
- Los carriles
- Las bermas
- Las cunetas
- Los taludes laterales

El ancho de zona o derecho de vía es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones, si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. A esta zona no se le puede dar uso privado. Los anchos se indican en el Cuadro 10²⁰

²⁰ Ministerio de Transporte. Manual de Diseño Geométrico 2008

Cuadro 10. Ancho de vías recomendados

TIPO DE CARRETERA	ANCHO MÍNIMO DE ZONA (m)
Principal de dos calzadas	>30
Principal de una calzada	24-30
Secundaria	20-24
Terciaria	12

Fuente. Manual de Diseño Geométrico Invias 2008

Es importante identificar que en el tramo de estudio el ancho mínimo de la zona debe estar entre 24 y 30 m.

- Ancho de la banca o Plataforma. El ancho de banca o plataforma, se considera como la distancia horizontal medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los hombros.
- La corona. Es el conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas.
- Calzada o superficie de rodamiento. La calzada o superficie de rodamiento es la destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles para uno o dos sentidos. En el Cuadro 10 se determinan los anchos de calzada de acuerdo a la categoría de la carretera y la velocidad de diseño.

De acuerdo a la Tabla 5.2 del Manual de diseño Geométrico del Invias se recomienda un ancho de calzada de 7.30 m. considerado para una carretera principal de una calzada y velocidades entre 60 y 90 km /h.

- Carril. El carril es la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. El ancho y el número de vehículos se determinan con base al análisis de capacidad y nivel de servicio deseado para el periodo de diseño. Los anchos de carril utilizados en una recto son 2.50 m; 3.00m; 3.50m y 3.65m.

En las curvas horizontales se deben considerar los sobre anchos teniendo en cuenta el radio y las dimensiones de vehículo pesado tipo rígido que circula por las carreteras. Según el Manual de Diseño Geométrico del Invia, para vías en secciones rectas y donde el ancho de la calzada sea 7.00m no se requiere sobre ancho y en ángulos de deflexión mayores a 120°.

- **Bermas.** La berma es la faja de terreno comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta; la berma tiene como funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores; eventualmente permite detenciones ocasionales de los vehículos y proporciona espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad del usuario ya que con este ancho adicional en un momento dado se pueden eludir accidentes o reducir su severidad. Es recomendable que las bermas deben tengan ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección para que puedan cumplir con las anteriores funciones.

Según el Manual de Diseño Geométrico del Invia 2008 para una carretera primaria de una calzada con terreno ondulado o montañoso y considerando velocidades entre 60 y 80 Km/h, el ancho de la berma mínimo esta entre 1.50m y 2.00m.

- **Cunetas.** Son Zanjas construidas paralelamente a las bermas, destinadas a facilitar el drenaje superficial de la carretera, éstas pueden ser revestidas o no, y su diseño debe realizarse de acuerdo a los análisis hidráulicos.
- **Taludes laterales.** Las superficies laterales inclinadas que delimitan la explanación ya sea en corte o terraplén. Si la sección es en corte el talud debe iniciar enseguida de la cuneta y si la sección es en terraplén este debe iniciar en el borde de la berma. Las inclinaciones son determinadas por los estudios geotécnicos y geológicos. Es importante para la seguridad de la vía evitar taludes muy verticales para evitar deslizamientos, se deben aplicar técnicas que permitan la protección de los usuarios por caída de material o posibles asentamientos de la vía.

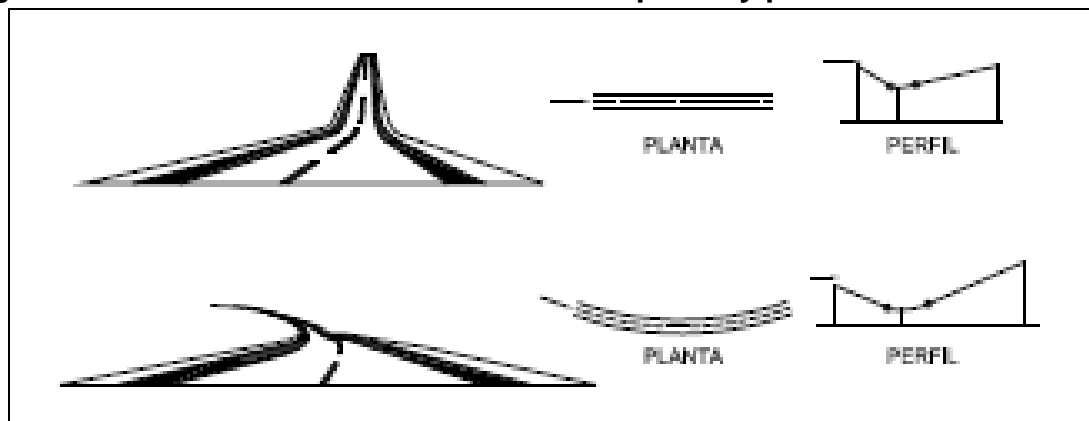
- ❖ *Condiciones de seguridad en los diseños geométricos de planta, perfil y sección transversal de una carretera.* El diseño geométrico de una carretera debe presentar consistencia entre todos los elementos de planta y perfil para las condiciones probables de operación, para un diseño vial seguro. [11]

El manual de Diseño Geométrico del Invias Titulo 8, plantea las siguientes recomendaciones a considerar en un diseño de carreteras los cuales se pueden estimar en los planos de la ruta doble calzada Bogotá Villavicencio en tramo de estudio salida del túnel de Boquerón hasta Puente Quetame.

- Las curvas verticales cóncavas de poca longitud, deben ser evitados en tramos rectos y curvas horizontales de gran radio.

En la Figura 7 se representan la ubicación de una curva vertical cóncava en un tramo recto y en una curva horizontal con vista en planta y perfil

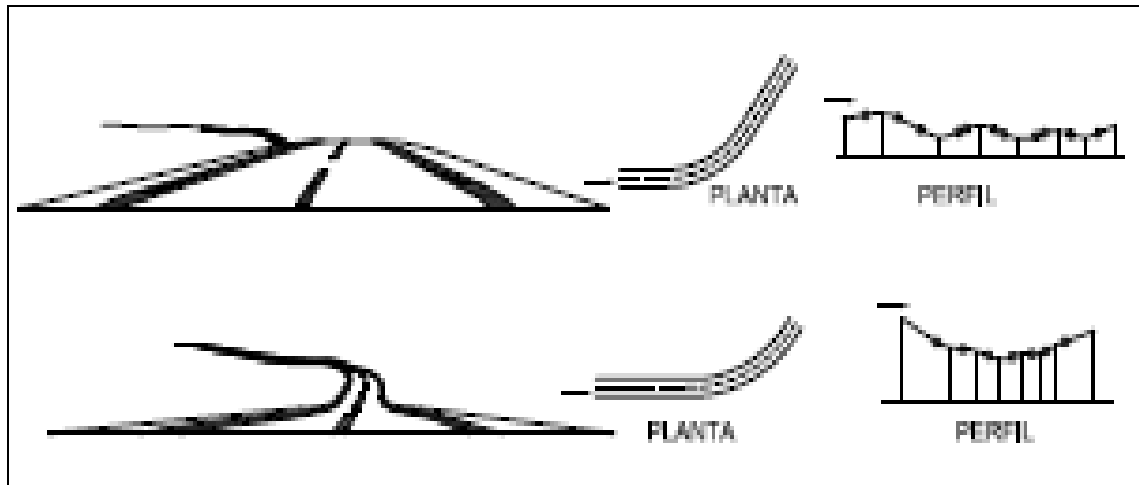
Figura 7. Ubicación de curvas verticales en planta y perfil



Fuente: Manual de Diseño geométrico del Invias 2008

- La ubicación de curvas verticales sucesivas y de poca longitud en terrenos planos y ondulados, producen efectos de pérdidas de trazados y de disminución de los tramos de oportunidad de adelantamiento esto se puede identificar en la Figura 8. Este tipo de curva se encuentra en la mayor parte del trazado de la vía en estudio.

Figura 8. Ubicación de curvas verticales sucesivas

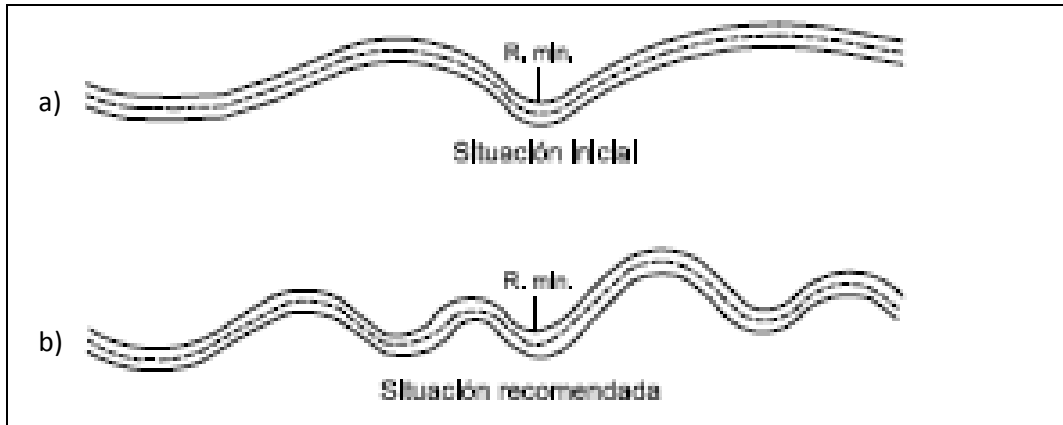


Fuente: Manual de Diseño geométrico del Invia 2008

- Los tramos rectos cortos entre dos curvas verticales cóncavas o convexas, deben ser reemplazados por una curva vertical única de mayor tamaño.
- Se debe evitar las coincidencias entre curvas verticales convexas y puntos de inflexión de curvas horizontales.
- Considerar condiciones de visibilidad continua en la carretera.
- Cuando la topografía del terreno obligue a la ubicación de curvas horizontales y verticales con parámetros mínimos, se deben generar una transición en la geometría en las zonas adyacentes para ajustes de velocidad.

En la Figura 9 se muestra la ubicación de una curva vertical cóncava o convexa, considerando tramos de vía que por su topografía se deben realizar curvas horizontales con radios mínimos, considerando la situación *b*, como la recomendada para este tipo de casos.

Figura 9. Transición de geometría en sitios con radios mínimos

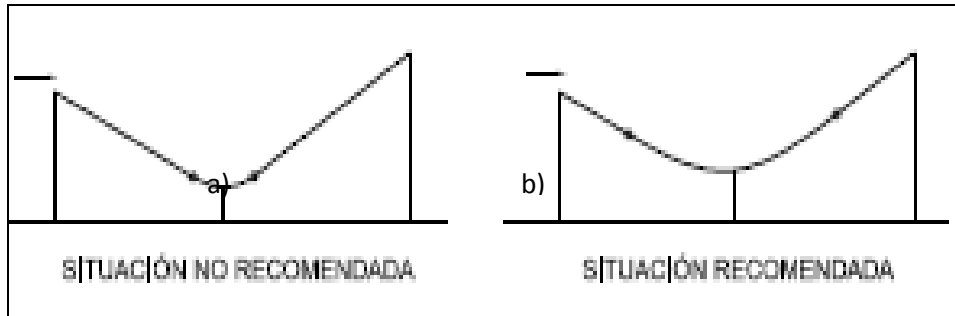


Fuente: Manual de Diseño geométrico del Inviás 2008

- En curvas espiralizadas, el desarrollo de la curva horizontal debe realizarse dentro del tramo circular central.
- En curvas espiral-espiral, el desarrollo de la curva vertical debe permitir a un conductor apreciar más de la mitad de la longitud de la curva horizontal.
- En una curva circular simple, el desarrollo de la curva vertical se debe realizar en una longitud menor al de la curva horizontal.
- Las curvas verticales cóncavas con mayores longitudes, son recomendables cuando se encuentran en longitudes de tramo pendientes constantes adyacentes

La Figura 10 muestra la ubicación de una curva vertical cóncava, en curvas espiralizadas considerando la situación “a” como la situación no recomienda en un diseño y la situación “b”, como la recomendada para este tipo de casos.

Figura 10. Uso de curvas cóncavas

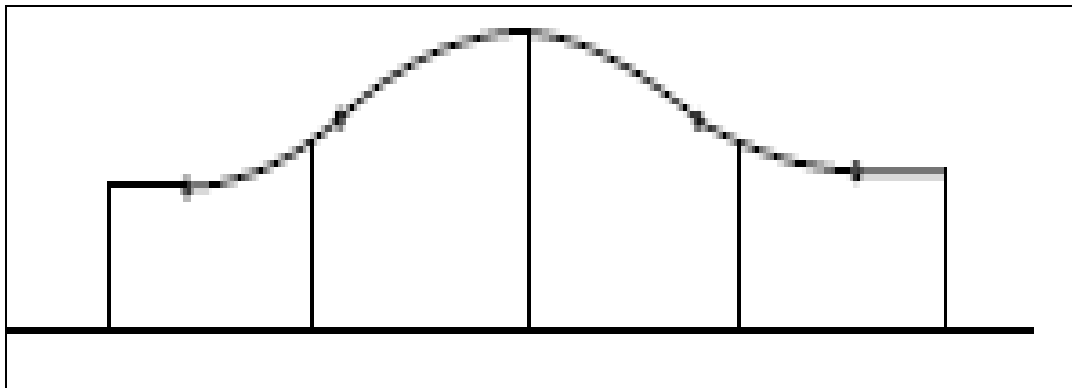


Fuente: Manual de Diseño geométrico del Invias 2008

- En los tramos de carretera con ondulaciones muy marcadas, se deben emplear curvas verticales convexas de mayor longitud que las cóncavas, para mejorar las condiciones de visibilidad en las partes altas.

Se identifica en la Figura 11, la ubicación curvas vertical convexa y cóncavas recomendada por Manual de Diseño Geométrico del Invias, considerando que la topografía presenta ondulaciones muy marcadas como el tramo de estudio

Figura 11. Curva vertical convexa de mayor longitud que la curvas cóncavas adyacentes.



Fuente: Manual de Diseño geométrico del Invias 2008

4.1.5 Factores de tránsito considerados en la seguridad vía. Las carreteras y su infraestructura deben facilitar el servicio de transporte para el tránsito de vehículos livianos, público (buses), comercial (camiones) , de carga (transporte de carga peligrosa), los cuales puede generar problemas de accidentalidad y congestión.

Los factores a considerar en el problema de tránsito son²¹:

- Diferentes tipos de vehículos en la misma vía. Donde en una misma carretera están circulando automóviles diversos y de altas velocidades, buses y camiones de diferentes dimensiones y altas velocidades y camiones de carga de baja velocidad.
- Falta de carreteras que no han evolucionado a los cambios exigentes para disminuir tiempos de viaje con criterios de seguridad.
- Falta de planificación del tránsito.
- Se considera el factor de la velocidad, el volumen, la densidad, capacidad y accidentalidad.

4.1.5.1 Tipos de vehículos. En el estudio de accidentalidad se puede considerar que siempre hay involucrado un tipo de vehículo; en el Manual de Diseño Geométrico del Invia, se considera el Vehículo de Diseño, como el vehículo representativo que puede circular tanto en sentido horizontal como en sentido transversal por la calzada. La selección de este vehículo, tiene incidencia 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 galibo bajo las estructuras (pasos elevados).

El Ministerio del transporte clasifica los vehículos de acuerdo al número de ejes y tipo de vehículos según el Cuadro 11. Esta clasificación es importante considerarla para determinar en los accidentes el tipo de vehículo involucrado.

²¹CAL., MAYOR, R. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. 8ª ed. Ciudad de México, México: Omega, 2007, p. 15

Cuadro 11. Clasificación de vehículos

CATEGORIA	TIPO DE VEHÍCULO
Cat. I:	Automóviles, Camperos y Camionetas
Cat. II:	Buses, Busetas con eje trasero de doble llanta y Camiones de dos ejes
Cat. III:	Camiones de tres y cuatro ejes
Cat. IV:	Camiones de cinco ejes
Cat. V:	Camiones de seis ejes

Fuente: Ministerio del Transporte

4.1.5.2 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.

$$Q = \frac{N}{T} \quad (8)$$

Donde:

Q: Vehículos que pasan por unidad de tiempo

N: Número total de vehículos que pasan

T. : Periodo determinado

4.1.5.3 Dispositivos de control. Los dispositivos de control permiten la regulación del tránsito, con el propósito de mejorar la movilidad, prevenir incidentes y accidentes, estos dispositivos deben ser instalados en concordancia con el diseño geométrico y se pueden clasificar en:

Señales horizontales, señales verticales, Señalización en Obras, otros Dispositivos, Señalización de Ciclo Rutas, Moto Vías y Vías Peatonales, Semáforos, eventos Especiales, Buses de Tránsito Rápido.

Los dispositivos deben cumplir factores básicos como²²:

- Satisfacer una necesidad: En los proyectos viales deben cumplir con color, tamaño, contraste iluminación, que tengan un mensaje simple y claro
- Ubicarse en lugar apropiado: se deben ubicar dentro del cono visual del conductor para facilitar su lectura considerando la velocidad del vehículo

4.2 MARCO DE REFERENCIA

4.2.1 Generalidades. El estudio de la accidentalidad, se ha convertido en tema de investigaciones en instituciones gubernamentales y universidades. Es de considerar que la preocupación por la accidentalidad es un problema mundial y son muchos los factores que la pueden ocasionar como son los vehículos, usuarios e infraestructura. Pero en este capítulo se pretende mostrar algunos de los estudios realizados, los cuales permiten ser el soporte de la presente investigación, donde se considera la infraestructura de la vía como un criterio a tener en cuenta en la accidentalidad.

4.2.2 Antecedentes. El estudio "*Incidencia De Las Características Geométricas Y De Tránsito De Vías En Alta Montaña Y De Bajas Especificaciones Geométricas Sobre La Accidentalidad*" realizado por la Universidad Javeriana en el año 2009, por los ingenieros Carlos Fabián Flórez y Fredy Alberto Reyes; establece la relación entre el número de accidentes y el diseño geométrico de la vía, llegando a la conclusión de que existe una correlación entre los accidentes y las características geométricas de alta montaña y bajas especificaciones, y con mayor accidentalidad en tramos curvos que en los rectos. Se identificaron factores como las condiciones climáticas y el buen estado de pavimento, ya que aumenta la percepción de velocidad.

²² CAL, MAYOR y CÁRDENAS., Op. cit., 117

La investigación realizada por el Ing. Santiago Henao Pérez en el año 1986 "*Traffic Safety in Developing countries case study in Colombia*", el cual, contempla que una de las principales causas de muerte son los accidentes viales y se hace necesario identificar los puntos de mayor accidentalidad y las causas. El estudio de caso se realizó en la ruta Bogotá- Tunja – Sogamoso; en el mismo se estableció que existe una correlación entre características geométricas de la vía con los accidentes; para lo cual se realizó un análisis de regresión lineal; otra conclusión es la correlación que tiene los lineamientos verticales con la accidentalidad debido a las imprudencias de operación de los vehículos y falta de señalización; considera también entre hallazgos del estudio las precauciones en los diseños de las curvas horizontales donde la conducción requiere mayor atención.

"Evaluar los diferentes elementos de la infraestructura vial, que influyen en la accidentalidad y seguridad vial de los usuarios de las vías interurbanas (peatones, ciclistas, motociclistas, pasajeros y ocupantes de vehículos de cuatro ruedas), a partir del estudio de caso de la Carretera Medellín - Bogotá Ruta 50 (Tramo Guaduas - Villeta)", es el objetivo principal de la investigación realizada por Yefer Asprilla Lara, en la universidad de los Andes en el año 2011, y en la cual, los resultados obtenidos indican la importancia que tienen los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios, e indica la importancia de utilizar equipos y software especializados, como los empleados por el Programa de Evaluación de Carreteras (IRAP) , para determinar el nivel de seguridad de la carreteras principales, secundarias, concesionadas y no concesionadas.

El "*Estudio de los puntos críticos por accidentalidad en vías troncales de los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila*", realizado por el Programa de Investigaciones del Transporte, PIT, del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, durante el periodo comprendido entre abril de 1986 y marzo de 1987, tenía como objetivo la identificación de tramos críticos por accidentalidad en 1.388 kilómetros de las carreteras troncales de los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila, estableciendo las causas más probables de accidente en cada sector crítico tendientes a solucionar los problemas para minimizar, su peligrosidad. Los resultados de esta investigación permitieron obtener los índices de peligrosidad y el índice de severidad para accidentes totales y para accidentes con víctimas, permitiendo así establecer los sectores críticos en las diferentes carreteras y disminuir los accidentes donde la vía tenía incidencia.

A nivel internacional la preocupación de la accidentalidad es un tema de estudio, como el realizado por Matthew G. Karlaftis y Loannis Golias en su artículo *Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates*, en el cual se da a conocer la importancia de conocer las zonas de accidentes en las carreteras

para tomar las correcciones preventivas. El objetivo del trabajo fue realizar una formulación matemática que permitieran predecir la accidentalidad, considerando las características geométricas de la carretera, de caminos rurales, y las altas tasas de accidentes. Los resultados de la investigación muestran que la accidentalidad está asociada con el diseño geométrico que tiene que ver con los anchos de los carriles y el tipo de pavimento.

La investigación desarrollada en el año 2009 en el Institutionen för klinisk neurovetenskap / Department of Clinical Neuroscience por, Helena Stigson, con el título: A safe road transport system - Factors influencing injury outcome for car occupants, tuvo como objetivo estudiar los accidentes de tránsito basado en la filosofía Visión Cero, desarrollado por la Administración de Carreteras de Suecia (SRA). El estudio permite identificar si este modelo puede ser utilizado para clasificar los accidentes fatales e identificar las debilidades del sistema al ser aplicado; además considerar los factores que deben ser tenidos en cuenta para para un sistema de transporte vial seguro.

Las conclusiones a las que se llegaron en este estudio fueron: i) la mayoría de los accidentes están relacionados con los tres componentes, vía, vehículo y usuario por lo que se hace necesario una metodología para analizar los accidentes y encontrar intervenciones que prevengan el riesgo de accidente; ii) Se encontró que el modelo empleado por la Administración de Carreteras de Suecia (SRA) es útil para encontrar una clasificación de accidentes fatales, pero es débil para identificar los riesgos de accidente cuando el tráfico está circulando, para lo cual se hace necesario de equipos sofisticados para realizar el registro de información; iii) La severidad del choque depende del tipo de colisión, para lo cual el choque frontal entre dos vehículos y el choque de un solo vehículo contra un objeto rígido de la carretera son los que muestran mayor gravedad; iv) El accidente menos dañino se da contra objetos deformables; v) la severidad de choque es menor en carretera con buen grado de seguridad que en aquellas calificadas con un mal grado de seguridad; vi) las velocidades más altas ocasionan accidentes graves en carreteras de mala calificación de seguridad que en las que presentan un buen historial de seguridad; vii) Se hace necesario realizar un estudio, donde se establezca una relación de la infraestructura vial con el comportamiento del usuario en una buen carretera y el diseño del vehículo.

La fundación Mapfre, en sus programas de investigación realizó un estudio sobre "Tramos Blancos", cuyo objetivo fue identificar las características de los tramos de carreteras en los que no se han producido accidentes durante un determinado periodo de tiempo, de manera que se puedan considerar para obtener recomendaciones para el diseño y la explotación de carreteras más seguras. Para esto se analizaron 25 km de carretera de gran capacidad y para la cual en un

periodo de tiempo de cinco (5) años no se habían registrado ningún tipo de accidentes con víctimas mortales.

4.3 MARCO LEGAL

4.3.1 A nivel nacional. El estudio de la seguridad vial se encuentra reglamentado en Colombia por leyes y decretos, cuyo objetivo es la protección de los usuarios de las vías, para mejorar la seguridad vial. A nivel internacional se ha mostrado gran preocupación por la pérdida de vidas humanas y los daños y lesiones causado por los accidentes en las carreteras.

4.3.1.1 Constitución Política de Colombia de 1991²³. La Constitución Política de Colombia establece en su Artículo 1 que Colombia es un Estado Social de Derecho, fundado en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que lo integran, y en la prevalencia del interés general. Se puede establecer que desde la Constitución la dignidad humana es fundamento del Estado y debe ser respetada en todo momento; ello se manifiesta cuando un usuario se moviliza en forma segura y eficiente por una carretera, la cual, debe estar construida, operada y protegida por todos los elementos de seguridad necesarios para la protección de la vida de las personas que por ellas circulan

El artículo 2 de la misma establece en su segundo inciso que “Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su vida, honra, bienes, creencias, y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares”²⁴. Este artículo es importante debido a que las autoridades en Colombia son las que realizan las actividades de control de las carreteras para el cumplimiento de las normativas reglamentadas en la circulación de las vías. El respeto por estas normas permite que se salvaguarden la vida y los bienes de quienes por ellas circulan.

El artículo 4 impone en su segundo inciso la obligación, tanto a colombianos como extranjeros de respetar la constitución y las leyes, en efecto, ésta establece que todos los usuarios de las vías están obligados a respetar las leyes y decretos reglamentados por el Estado en el tema de la seguridad en las vías.

²³ CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA. Bogotá D.C.: Leyer.

²⁴ *Ibíd.*, p. 1

El artículo 24 dictamina “todo colombiano puede circular libremente por el territorio nacional, con las limitaciones que establezca la Ley”²⁵ y, en su Artículo 79 dicta que “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y es deber del Estado protegerlo”²⁶. Por lo cual el Estado debe brindar a los usuarios de las vías seguridad y éstos a su vez respetar las normas y reglamentación estipulada para su protección.

4.3.1.2 La Ley 1503 del 29 de diciembre del 2011. La cual tiene por objeto definir lineamientos sobre “(...) formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros 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”²⁷ y en la cual define la importancia de la seguridad vial.

4.3.1.3 Ley 769 de 2002. Mediante el cual se expide el Código Nacional de Tránsito tiene como objetivo: “(...) la seguridad de los usuarios, calidad, oportunidad, cubrimiento, libertad de acceso, plena identificación, libre circulación, educación y descentralización”²⁸.

En el artículo 2° de la presente ley se definen los conceptos que van a ser aplicados en el presente documento entre los cuales están:

Accidente de tránsito: Evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho.

Berma: 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”.

²⁵ *Ibíd.*, p. 5

²⁶ *Ibíd.*, p. 17

²⁷ CONGRESO DE COLOMBIA. La Ley 1503 de 2011 (29 de diciembre) Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y se dictan otras disposiciones. Art. 1. Bogotá D.C., Diario Oficial. P. 1

²⁸ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 769 de 2002. Op. cit., p. 1

Calzada: Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos.

Carril: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

Cuneta: Zanja o conducto construido al borde de una vía para recoger y evacuar las aguas superficiales”.

Rebasamiento: Maniobra mediante la cual un vehículo sobrepasa a otro que lo antecedía en el mismo carril de una calzada.

Señal de tránsito: Dispositivo físico o marca especial, preventiva, reglamentaria e informativa, que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías.

Señales luminosas de peligro: Señales visibles en la noche que emiten su propia luz, en colores visibles como el rojo, amarillo o blanco.

Separador: Espacio estrecho y saliente que independiza dos calzadas de una vía.

Tráfico: Volumen de vehículos, peatones, o productos que pasan por un punto específico durante un periodo determinado.

Vía: Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales²⁹

En el artículo 4° en el párrafo 1 de la Ley 769 de 2002 establece que: "El Ministerio de Transporte deberá elaborar un Plan Nacional de Seguridad Vial para disminuir la accidentalidad en el país que sirva además como base para los planes departamentales, metropolitanos, distritales y municipales, de control de piratería e ilegalidad"³⁰.

4.3.1.4 Código Nacional de Tránsito. En sus artículos 106 y 107 establece los límites de velocidad por el territorio nacional:

En 60 kilómetros por hora la velocidad máxima en vías urbanas, excepto cuando las autoridades competentes por medio de señales indiquen velocidades distintas. En zonas rurales fija la velocidad máxima permitida en 80 Kilómetros por hora, aunque en los trayectos de las autopistas y vías arterias en que las especificaciones de diseño y las condiciones así lo permitan, las autoridades podrán autorizar velocidades máximas hasta de 100 kilómetros por hora por medio de señales adecuadas³¹.

²⁹ *Ibíd.*, p. 2-3

³⁰ *Ibíd.* p. 4

En el capítulo XII del Código Nacional de Tránsito trata de la obligatoriedad de obedecer a las señales de tránsito; clasificación y definiciones; reglamentación de las mismas y demás disposiciones relacionadas con la señalización en las vías.

4.3.1.5 Manual de Señalización Vial del 2004. , En su capítulo introductorio establece: “La decisión de utilizar un dispositivo en particular, 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”³².

4.3.1.6 Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. “pretende sintetizar de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle”³³.

Asimismo, éste contempla: (i) los aspectos generales, donde se presenta la clasificación de las carreteras y los elementos metodológicos que constituyen las diferentes fases o etapas del proyecto en general; (ii) los controles para el diseño geométrico en los cuales se analizan los criterios y rangos de valores para la selección puntual de los parámetros operacionales que determinarán la geometría del proyecto; (iii) el diseño de planta y de perfil del eje de la carretera los cuales presentan los criterios de los elementos geométricos; (iv) el diseño de la sección transversal el cual da a conocer los elementos constitutivos de la sección transversal y valores de diseño según los parámetros operacionales del proyecto; (v) intersecciones a nivel y desnivel; (vi) diseño geométrico de casos especiales; (vii) consistencia en el diseño geométrico de la carretera, en el cual se entregan

³¹ *Ibíd.*, p. 50

³² MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de señalización Vial 2004. p. 1 [Consultado el 11 de julio de 2013]. Disponible en Internet : <http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallIG/home_1/recursos/01_general/documentos/27102008/manual_senalizacion.pdf

³³ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de Diseño Geométrico 2008 . p. 1 [Consultado el 11 de julio de 2013]. Disponible en Internet : http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallIG/home_1/recursos/informacion_institucional/20122007/documento_tecnico.jsp

recomendaciones para la interacción segura con los elementos de diseño de la carretera; (viii) y en su último capítulo el aseguramiento de la calidad del diseño geométrico.

4.3.1.7 Resolución 66/260³⁴. La Asamblea General de las Naciones Unidas ONU mediante Resolución 66/260, solicita a los Estados Miembros, que realicen acciones en seguridad vial, especialmente en acciones que tienen relación con la gestión en la seguridad vial, la señalización vial y a la de disminuir el número de muertos y heridos en accidentes de tráfico con miras a alcanzar los objetivos propuestos en el milenio de disminuir los traumatismos causados por los accidentes de tránsito.

A partir de la Resolución antes mencionada se gestionó el Plan Mundial para la seguridad vial 2011 -2020, el cual es declarado como “Decenio de Acción para la Seguridad Vial”, con el objetivo de reducir las cifras de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo a partir actividades que se desarrollen en los planes local, regional, nacional y mundial, los cuales contemplan cuatro (4) pilares fundamentales que son: i) Gestión de la seguridad vial; ii) Vías de tránsito y movilidad más segura; iii) Vehículos más seguros; iv) Usuarios de vías de tránsito más seguros; v) Respuesta tras los accidentes.

La investigación a realizar quiere dar respuesta al pilar dos, donde se van desarrollar evaluaciones para el indicar el nivel de riesgo en accidentes en el diseño y funcionamiento de la carretera.

4.3.1.8 Ley 1450 del 2011³⁵ . Con la cual se expide El Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 Prosperidad para Todos, el Gobierno Nacional declara la seguridad vial como una política de Estado que trascienda los planes y programas de un período de gobierno. La estrategia de política según el documento incluirá las siguientes acciones:

³⁴ ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS. Resolución 66/260 Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo. Resolución aprobada por la Asamblea General el 19 de abril de 2012. [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: < www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/roadsafe/.../A-RES-66-260s.pdf.

³⁵ Ley 1450 de 16 de junio de 2011 “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014”. Prosperidad para todos” ,en su capítulo III Crecimiento sostenible y competitividad en su numeral 2Infraestructura para la competitividad ítem de servicio de transporte y logística, el Gobierno nacional declara la seguridad vial como una política de Estado. Bogotá D.C.: Diario Oficial. 48102 de junio 18 de 2011

- Infraestructura para proteger la integridad de los usuarios.
- Equipo y vehículos para una movilidad segura.
- Comportamiento de los Usuarios.

4.3.2 A nivel internacional. A nivel internacional se consideran metodologías para realizar Auditorias en Seguridad Vial como la establecida por la PIARC (Road Safety Inspection Guideline 2007)³⁶. Estas guías fueron desarrolladas para identificar las carencias en seguridad vial en las carreteras en las etapas de diseño, construcción y operación con el fin de reducir la probabilidad de accidentes en un tramo de carretera. Esta metodología es aplicada en Colombia actualmente a todos los proyectos del país desde su fase de planeación hasta la fase de operación y es realizada por convenios suscritos por el Ministerio de Transporte, el banco Mundial y el fondo de Prevención Vial.

4.4 MARCO GEOGRÁFICO

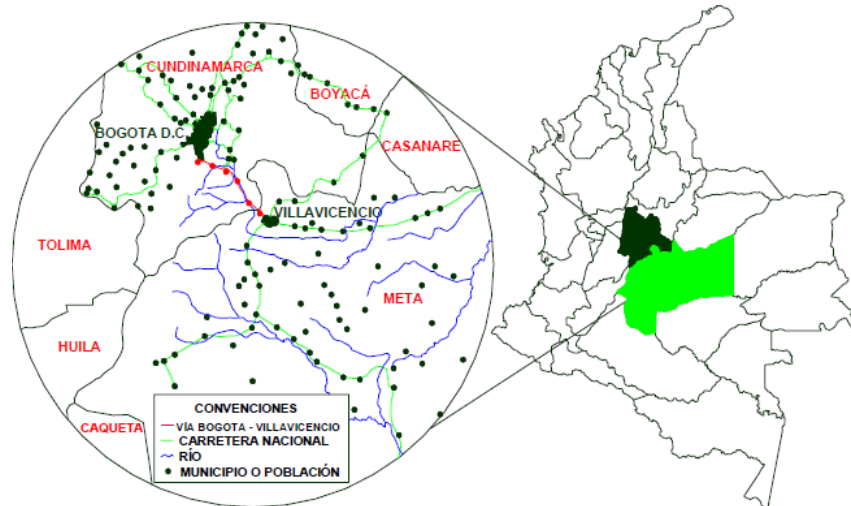
4.4.1 Localización regional del tramo de estudio. La carretera Bogotá - Villavicencio forma parte de la Red Básica Nacional de Vías Troncales, que atraviesa la Nación desde Buenaventura, pasando por Ibagué, Bogotá, Villavicencio, hasta Puerto Carreño en los Llanos Orientales colombianos.

La zona del proyecto está enmarcada sobre la Cordillera Oriental en la Cuenca del Río Negro, interconectando la Región Andina (departamento de Cundinamarca) con los Llanos Orientales (Departamento del Meta)³⁷. Se denomina ruta 40, tramo 06 dentro de la red vial nacional, con origen en el sur oriente de Bogotá, pasando por los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal en el departamento de Cundinamarca y el corregimiento de Pipiral en departamento del Meta, hasta terminar su recorrido en su capital Villavicencio.

³⁶ CARDOSO, João L. STEFAN, Christian, ELVIK, Rune. , SØRENSEN, Michael. Road Safety Inspections: best practice and implementation plan. . [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en Internet : <http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/ripcord_d05_road_safety_inspections.pdf

³⁷ OMGETEC S.A. Carretera Bogotá – Villavicencio. . [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en: <http://www.ingetec.com.co/experiencia/textos-proyectos/vias/carretera-bogota-villavicencio.htm>

Figura 12. Localización general ruta de estudio



Fuente AMARIS PASTRANA, Leonardo Manuel. MAYORGA RINCÓN, Néstor Aurelio. Análisis de la Normativa Colombiana Referente a la Seguridad de los Túneles Viales. Bogotá D.C., 2009

En la Figura 12 se representa la ubicación general del proyecto de la vía Bogotá a Villavicencio, la cual se inició a construir en el año 1994 con el CONPES³⁸ 2654 por la Concesión de Coviandes.

El proyecto inicial de la carretera se realizó con flujo bidireccional y se dividió en (5) cinco tramos, enumerados del 2 al 6, los cuales son:

- ❖ Tramo 2: Bogotá (K0+000) - El Antojó (K9+210): Inicia en el Portal Bogotá (K0+000), intersección de la Avenida Villavicencio con la vía que conduce al Alto del Boquerón II. Presenta una longitud de 9,21 Km, una velocidad de diseño de 70 km/hora, y una pendiente longitudinal máxima del 6%.
- ❖ Tramo 3: el Antojó (K9+210)- Puente Real (K25+510), con una longitud del tramo de 16,3 km, una velocidad de diseño de 50 a 60 km/hora y una pendiente máxima longitudinal del 10%.
- ❖ Tramo 4: Puente Real (K25+510) – Puente Téllez (K38+300), para una longitud de 12,7 km.

³⁸ CONPES 2654 de 1993 Consejo nacional de Política Económica y social Documentos Conpes: Carretera Bogotá-Villavicencio.;

❖ Tramo 5: Puente Téllez (K38+210) – Caño Seco (K70+471).

❖ Tramo 6: Caño Seco (K70+471) – Villavicencio (K85+600), con una longitud de 15,1 Km.

La carretera Bogotá - Villavicencio es una de las rutas más críticas del sector nacional, debido a que debe soportar cierres continuos por factores ambientales, geológicos, topográficos, resultantes de diseños y especificaciones técnicas de la década del 70 y los cuales inciden en la seguridad y movilidad de los usuarios de la vía, generando riesgos de accidentalidad, afectación de la economía de la región y del país por los continuos cierres.

Por lo anterior, el Gobierno nacional a través del CONPES³⁹ 3612 y con la Dirección del Ministerio de Transporte e INCO delegó a la Concesión COVIANDES los estudios, diseño y construcción de la segunda calzada la cual contribuiría a evitar la disminución de la capacidad vial y aumentar la seguridad vial, la movilidad y la economía de la zona y del país.

La longitud de la vía a construir es 45,5 km y se tendrá un tiempo de reducción de viaje de 25 minutos.

En el Cuadro 12 se indican las especificaciones de la vía actual y las de la vía nueva o doble calzada.

³⁹ CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social. 21 de septiembre de 2009, Programas estratégicos de Autopistas. Numeral B. p. 23

Cuadro 12. Especificaciones de la vía actual vs la doble calzada

Especificaciones	Unidad	Vía Existente	Vía Nueva
Velocidad	Km/h	20 -30	80
Ancho de vía	M	8 - 9	10,9
Pendiente máxima	%	13,5	4,5
Proporción zonas de no paso	%	90	0
Ancho del corredor vial	M	20 – 30	200
Radio mínimo	M	35	240
Puentes	Und		41
Intersecciones principales		A nivel	A desnivel
Control de Accesos		no	si

Fuente. Coviandes- Informe Doble Calzada Bogotá- Villavicencio

Se puede evidenciar, en la vía proyectada para la doble calzada, el aumento de la sección transversal y la velocidad, disminución de pendientes, curvas más abiertas con radios amplios y el tipo de intersecciones a desnivel. Por lo anterior se hace necesario identificar los elementos de seguridad que serán tenidos en cuenta para la protección de la vida de los usuarios.

Igualmente en el tramo de operación las bajas velocidad y las pendientes altas, los radios trabajados que indican curvas cerradas, pueden identificar que es una vía con alto grado de accidentalidad, para lo cual se hace necesario identificar los puntos críticos de accidentalidad.

En el Cuadro 13 se identifican las obras que serán construidas en el proyecto de doble calzada, y será tema de estudio las medidas de seguridad tenidas en cuenta para mejorar la seguridad.

Cuadro 13. Obras de infraestructura proyecto doble calzada

Tipo de Obra	Unid	Long (km)
Túneles	19	14,5
Puentes y viaductos	19	2,6
Mejora de calzada existente		
Puentes y Viaductos	15	2,3
Conectantes, retornos y accesos veredales		
Puentes y viaductos	12	0,8

Fuente. Coviandes- Informe Doble Calzada Bogotá- Villavicencio

4.4.2 Localización y características locales del tramo en estudio

4.4.2.1 Descripción actual del tramo en estudio. La Vía Bogotá-Puente Quetame, es la que permite actualmente la comunicación entre los Llanos Orientales y Bogotá, considerada uno de los ejes viales más estratégicos del país y por el cual circula el mayor tráfico de carga con productos alimentación, ganadería y petrolíferos con destino a la ciudad de Bogotá y centros urbanos del resto del País

El tramo de estudio está comprendido desde el tramo de la salida del túnel del Argelino Duran Quintero (Túnel de Boquerón) ubicado en el K4+000 al peaje de Puente Quetame K44+750, en la ruta nacional 40 no incluye túneles.

La vía en estudio en su estado actual de operación comprende cuatro sectores con las siguientes características:

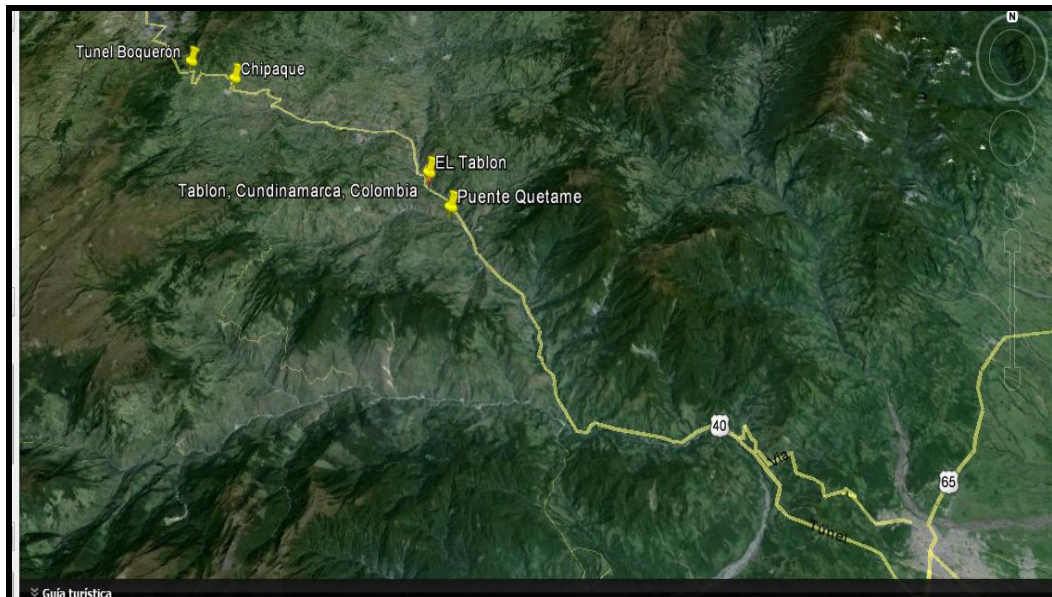
El primer sector en estudio es de 10km de longitud comprendido de la salida del túnel Argelino Duran Quintero (túnel de Boquerón) a Chipaque, en una longitud de 12,3 km. Este tramo está construido sobre un terreno accidentado, presentando curvas considerables en rampas de descenso, velocidades de operación entre 70 y 50 km/h, taludes en corte, pendientes longitudinales del 12 a 14%, una calzada con dos carriles, cada uno de 3,65m separados por línea de señalización horizontal y con bermas en algunos tramos y pavimentado en todo su trayecto.

El segundo sector es el Chipaque ubicado en el PR k12+300 a Caqueza en el PR k26+000, corresponde a un tramo de 13,7 km de longitud sobre terreno accidentado y su trazado considera curvas horizontales y verticales considerables en un recorrido de pendientes en bajada desde Chipaque hasta la intersección con Cáqueza. La velocidad señalizada esta entre 60-50 km/h, la calzada está compuesta por dos carriles uno en cada dirección.

El tercer sector para su estudio está entre Cáqueza en el PR 26+00 y el Tablón en el PR K34+100, con 8.1 Km de longitud sobre terreno accidentado. El trazado de la vía esta sobre una topografía quebrada y compuesta por curvas horizontales y verticales considerables en un recorrido de pendientes en descenso en toda su longitud y comprende una calzada con un carril en cada dirección.

El Cuarto sector está entre el Tablón PR k34+100 y el peaje de Puente Quetame PR K44+750, con una longitud de 13,650 km. El trazado de la vía está sobre una topografía quebrada y compuesta por curvas horizontales y verticales considerables en un recorrido de pendientes en descenso en toda su longitud, la conforma una calzada con un carril en cada dirección

Figura 13. Localización tramo de estudio



Fuente: imagen de Google Earth

En la figura 13 se puede observar que el tramo inicial de salida del Túnel de Boquerón K4 +000 al sector de Puente Quetame ubicado en el k44+750 en su estado actual de operación y para el cual se realizara el análisis de seguridad vial, considerando que es importante considerar los puntos críticos de accidentalidad, considerando que esta será utilizada en sentido Bogotá- Villavicencio.

4.4.2.2 Descripción del estudio de tránsito actual. Según datos de la Agencia Nacional de la Infraestructura (ANI)⁴⁰, el tránsito promedio diario (TPD) desarrollado en el tramo de estudio en el año 2010 son:

- Ruta Bogotá – Chipaque 8.520 vehículos/día
- Ruta Chipaque - Caqueza 7.905 vehículos/día

⁴⁰ <http://www.ani.gov.co/carreteras>

- Ruta Caqueza - Puente Quetame 6.842 vehículos/día

El 40% de los vehículos que circulan son camiones y con niveles de servicio E. El año 2011, se presenta un incremento considerable con respecto al 2010 presentando las siguientes cifras:

- Ruta Bogotá - Chipaque 9.500 vehículos /día
- Ruta Chipaque - Caqueza 8.694 vehículos/día
- Ruta Caqueza - Puente Quetame 7.599 vehículos/día

Para el año 2012 el tránsito del ruta Bogotá-Villavicencio es

- Ruta Bogotá - Chipaque 10.915 vehículos /día
- Ruta Chipaque - Caqueza 10.294 vehículos/día
- Ruta Caqueza - Puente Quetame 9.559 vehículos

5. METODOLOGÍA.

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación realizada es **Explicativa**, ya que esta permite establecer el porqué de la accidentalidad en el tramo de ruta salida del Túnel de Boquerón a Puente Quetame, en la cual se establece una relación causa – efecto.

5.2 METODOLOGIA UTILIZADA

La metodología utilizada es Información de estudios y diseño

La información para realizar el proyecto es de dos tipos: accidentalidad y diseño geométrico.

5.2.1 Datos de accidentalidad. Por medio la información entregada por el Fondo de Prevención Vial, la concesión de Coviandes y el Ministerio de transporte se obtuvo el historial de accidentalidad de la vía en estudio de los últimos tres (3) años (2010-2012). Con esta información se crea una base de datos la cual se organiza para realizar el análisis de accidentalidad ocurrido en la vía objeto de estudio.

5.2.2 Información de diseño geométrico. Por medio de la concesión de Coviandes encargada del tramo de estudio se realizara con los planos de diseño geométrico de la carretera actual y el proyectado en doble calzada. La información de transito de aforos fue solicitada a la misma concesión para un periodo igual al de accidentalidad.

5.3 PROCEDIMIENTO

5.3.1 Visita de campo. La visita de campo y el recorrido por la vía de estudio, se localizaran los puntos de accidentalidad obtenidos por los registros facilitando así el análisis de la relación del diseño de la vía con cada evento ocurrido.

La información introducida en cada formulario contiene:

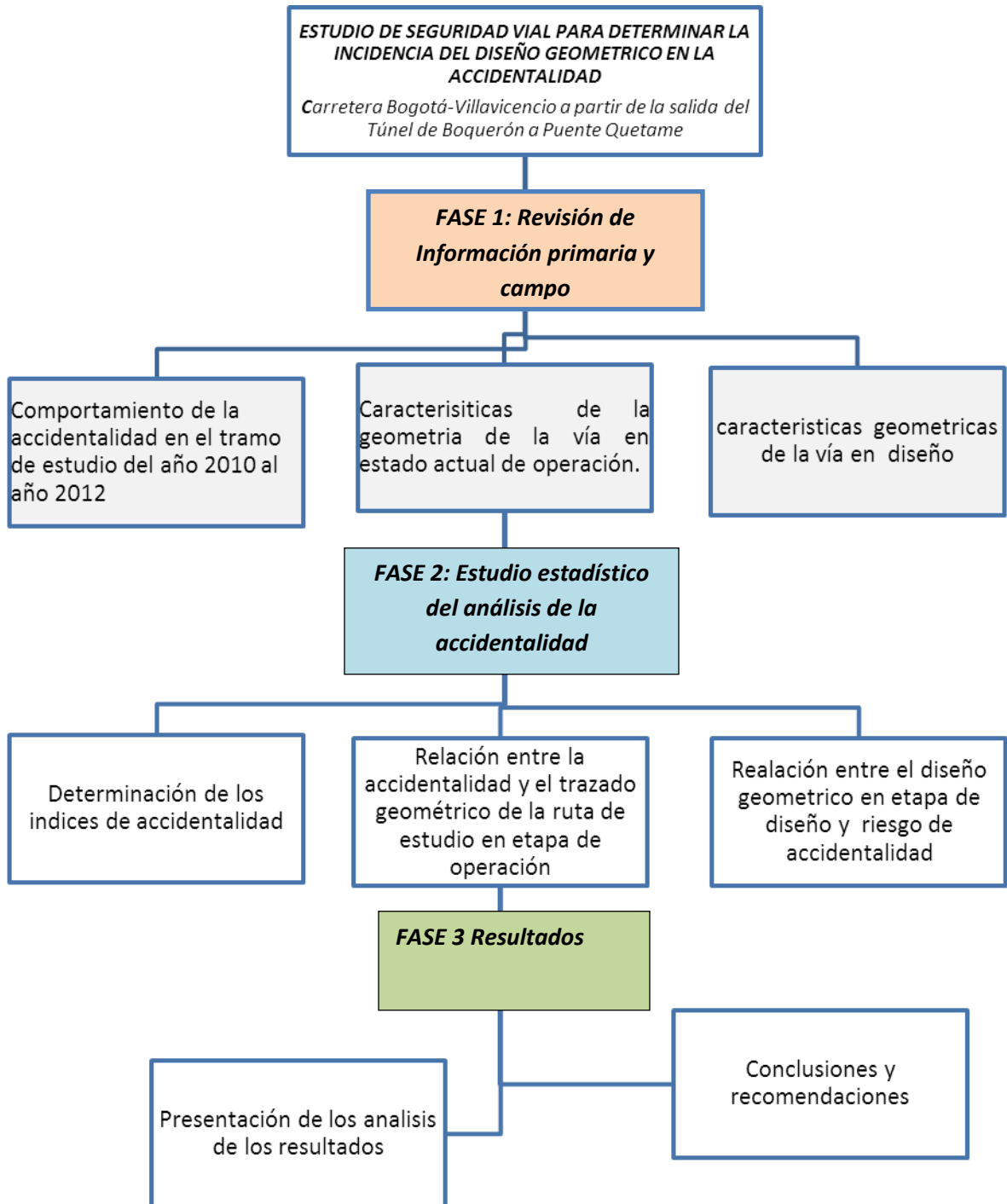
- Número de ruta
- Sección de la carretera principal identificación del lugar y el Km
- Descripción del punto en cuanto a diseño geométrico
- Descripción de obstáculos en la vía.
- Registro Fotográfico

5.3.2 Análisis de características geométricas de la carretera. La ubicación del accidente en la vía permitirá determinar sobre el plano los principales elementos del diseño geométrico como pendientes longitudinales, radios de curvas horizontales, anchos de calzada, curvas vertical, entre tangencias ,peraltes, etc.

5.3.3 Análisis de accidentalidad en la ruta de estudio. Con los datos anteriores del diseño geométrico y el historial de accidentalidad se procederá a realizar la relación entre el diseño geométrico y la accidentalidad.

Para determinar las variables que forman parte del análisis se considerara la investigación previa realizada por el Ing. Santiago Henao Pérez “ *Traffic Safety In Developing Countries: A case Study in Colombia*” y la realizada por Flórez, C. F., Reyes, F. A., Giraldo, L., Bernal, O. H., & Quintana, L. A. “ *Incidencia De Las Características Geométricas Y De Tránsito De Vías En Alta Montaña Y De Bajas Especificaciones Geométricas*”

Figura 14. Metodología del estudio



Fuente. Elaboración propia

6. ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD EN LA RUTA DE ESTUDIO

6.1 INTRODUCCIÓN

Los datos de accidentalidad en la ruta de estudio permiten determinar el número de accidentes ocurridos, los puntos de la vía donde se presentan los accidentes y la causa; para estos análisis se tuvo en cuenta la información suministrada por entidades como: la Concesión Coviandes y el fondo de Prevención Vial, a partir del año 2010 a del 2012.

6.1.1 Variación de la accidentalidad. Para identificar la accidentalidad en el tramo de estudio comprendido desde el K4+000 al K45+000, se realizó la variación de la accidentalidad desde el periodo del 2010 al 2012 con los datos suministrados por la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura). Los resultados se obtienen en el Cuadro 14 y en la Figura 15.

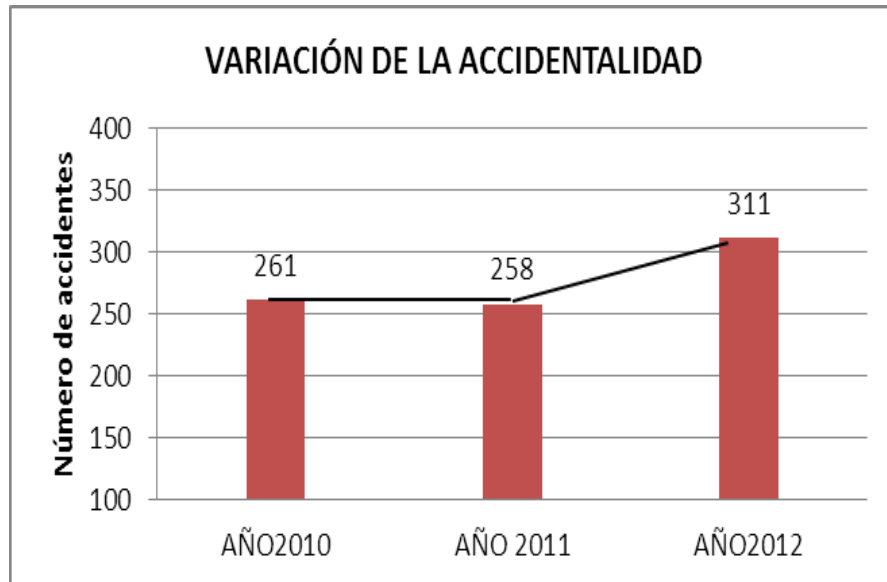
Cuadro 14. Variación de la accidentalidad en vehículos

PERIODO	Nº DE ACCIDENTES
AÑO2010	261
AÑO 2011	258
AÑO2012	311
TOTAL	830

Fuente. Elaboración propia

Los accidentes en el 2010 y 2011 no presentan una variación significativa, en el año 2012 el número de accidentes presenta un aumento del 20,6%, con respecto al año 2011.

Figura 15. Variación de la accidentalidad



Fuente. Elaboración propia

6.1.2 Número de accidentes según la gravedad. En el tramo de las Salida del túnel Boquerón K4+ 000 hasta Peaje Puente Quetame K45+000

En la Cuadro 15 se puede determinar la evolución de los accidentes presentados desde el periodo del 2010 al 2012, según la gravedad considerando

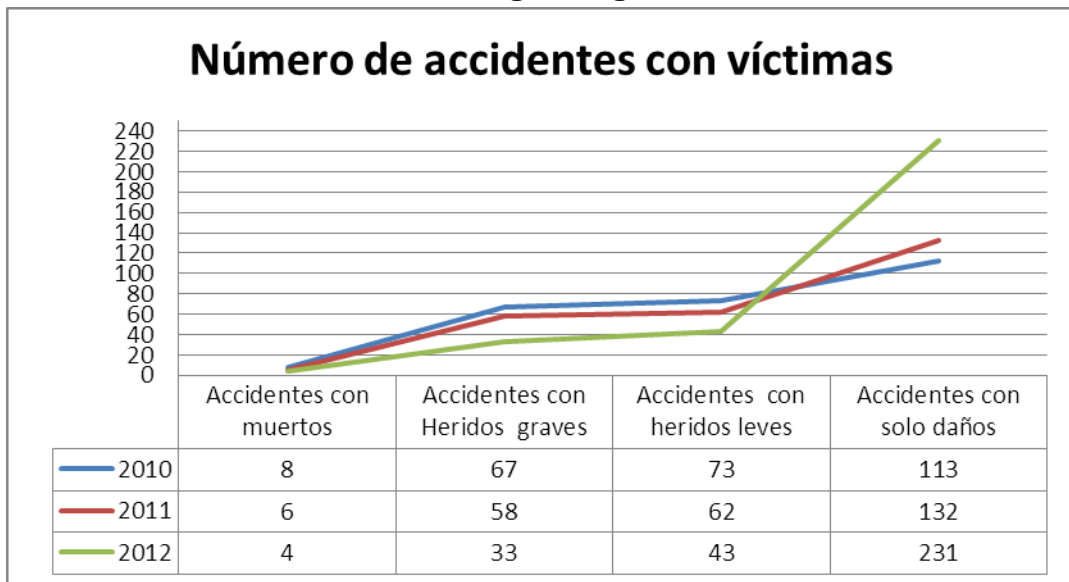
- Accidentes con Muertos
- Accidentes con heridos graves
- Accidentes con heridos leves
- Accidentes con solo daños

Cuadro 15. Accidentes en el tramo de estudio

NÚMERO DE ACCIDENTES	2010	2011	2012
Accidentes con muertos	8	6	4
Accidentes con Heridos graves	67	58	33
Accidentes con Heridos leves	73	62	43
Accidentes choques simples	113	132	231
TOTAL	261	258	311
Fallecidos por cada 100 accidentes	0,08	0,06	0,04

Fuente. Elaboración Propia

Figura 16. Número de accidentes según la gravedad



Fuente. Elaboración propia

Los datos de las cifras de accidentes con muertos y heridos en el periodo 2010 al 2012 pueden considerarse que no ha cambiado y presenta una mínima reducción según los datos suministrados por la ANI. (Agencia Nacional de la Infraestructura) y representados en la figura 16, de la cual se puede identificar:

En 2011 han fallecido seis (6) personas dos menos en accidente de tránsito que en el 2010, lo que supone una reducción del 25%; en cuanto al número de heridos graves en el 2011 presenta una reducción del 13,43% con respecto al año 2010; en accidentes con heridos leves se presenta una disminución 15,06%; en

accidentes en solo daños presenta un aumento de 16,9% con respecto al año 2010.

Los accidentes con muertos paso de seis (6) en el 2011 a cuatro (4) en el 2012, lo que presenta una disminución del 33,3; en accidentes con heridos graves paso de 58 accidentes a 33 accidentes con una disminución del 43,5%; con respecto a heridos leves se refleja una disminución del 30,65% en accidentes; los accidente con solo daños presenta un aumento del 76% con respecto al año 2011.

6.1.3 Tipología de los accidentes. en el tramo de estudio: Salida del túnel Boquerón PR4+ 100 hasta Peaje Puente Quetame PR45+000

Los datos suministrados permiten identificar la tipología de los accidentes de acuerdo a la causa.

6.1.3.1 Factor vehículo

- Fallas mecánicas

6.1.3.2 Factor Humano

- No respetar señales de tránsito
- Invasión de carril contrario
- Atropello a peatones
- Invasión de carril

- Velocidad
- Sueño del conductor
- Exceso de carga
- Embriaguez
- No respetar distancia mínima entre vehículos

6.1.3.3 Factor vía y el entorno

- Visibilidad
- Vuelco
- Encandilamiento
- Caída de rocas
- Falta de señalización
- Elementos laterales
- Cunetas

Otras

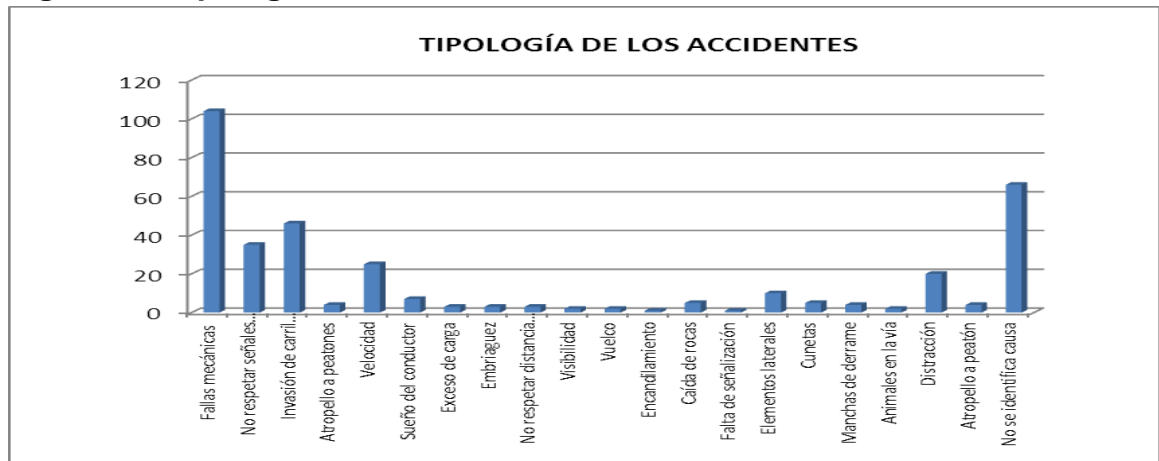
- Manchas de derrame
- Choque con elementos laterales
- Animales en la vía
- Distracción
- Atropello a peatón
- No se identifica causa

Cuadro 16. Tipología de los accidentes en el tramo de estudio año 2012

<i>TIPOLOGÍA DEL ACCIDENTE</i>	<i>NÚMERO DE ACCIDENTES</i>	<i>%</i>
Factor Vehículo		
✓ Fallas mecánicas	104	
TOTAL	104	29,71
Factor Humano		
✓ No respetar señales de tránsito	35	
✓ Invasión de carril contrario	46	
✓ Atropello a peatones	4	
✓ Velocidad	25	
✓ Sueño del conductor	7	
✓ Exceso de carga	3	
✓ Embriaguez	3	
✓ No respetar distancia mínima entre vehículos	3	
TOTAL	126	36%
Factor Vía y el entorno		
✓ Visibilidad	2	
✓ Vuelco	2	
✓ Encandilamiento	1	
✓ Caída de rocas	5	
✓ Falta de señalización	1	
✓ Elementos laterales	10	
✓ Cunetas	5	
TOTAL	26	7,44%
otras		
✓ Manchas de derrame	4	
✓ Animales en la vía	2	
✓ Distracción	20	
✓ Atropello a peatón	4	
✓ No se identifica causa	64	
TOTAL	94	26,86%

Fuente. Elaboración propia

Figura 17. Tipología de los accidentes



Fuente. Elaboración propia

Los datos suministrados indican que la mayor causa de los accidentes es el factor humano con un 36% correspondiente a 126 accidentes ocurridos entre el año 2010 al 2012, la invasión de carril es el factor predominante.

La segunda causa de accidentes es el factor vehículo con 104 accidentes ocurridos por fallas mecánicas, correspondiente a 29,71%.

La tercera causa de accidente son otros factores identificados en el Cuadro 16 (tipología de los accidentes), con 94 accidentes equivalente al 26,86%. Dentro estos 64 accidentes no se identificaron las causas en los reportes anexos.

La vía en estudio se presentaron 26 accidentes durante el periodo del 2010 al 2012 con un porcentaje del 7,44%, la mayor accidentalidad en este factor fueron los elementos laterales como señales de tránsito.

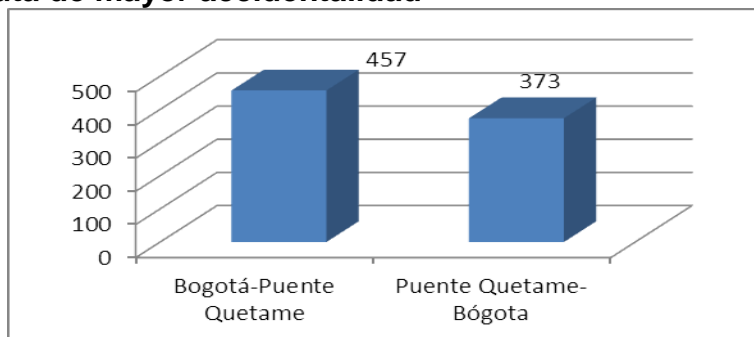
6.1.3.4 Sentido de ruta de mayor accidentalidad. Los datos suministrados por la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), de los años 2010 a 2012 se identificaron 350 accidentes, donde la ruta de Mayor accidentalidad es Bogotá Puente Quetame con 457 accidentes correspondiente a un 55,06% y la ruta Puente Quetame a Bogotá con 373 accidentes correspondiente a 44,94 %, en el periodo del 2010 al 2012.

Cuadro 17. Sentido de ruta de mayor accidentalidad en el tramo de estudio

RUTA	Número de accidentes	%
Bogotá-Puente Quetame	457	55,06
Puente Quetame-Bogotá	373	44,94

Fuente. Elaboración propia.

Figura 18. Ruta de mayor accidentalidad



Fuente. Elaboración propia

La Figura 18 se representa el número de accidentes por sentido, de cual Bogotá – Puente Quetame, es la mayor accidentalidad, del cual el mayor número de accidentes se presentan por factores humanos seguido de fallas mecánicas de acuerdo a lo mostrado en el Cuadro 16 Tipología de los accidentes.

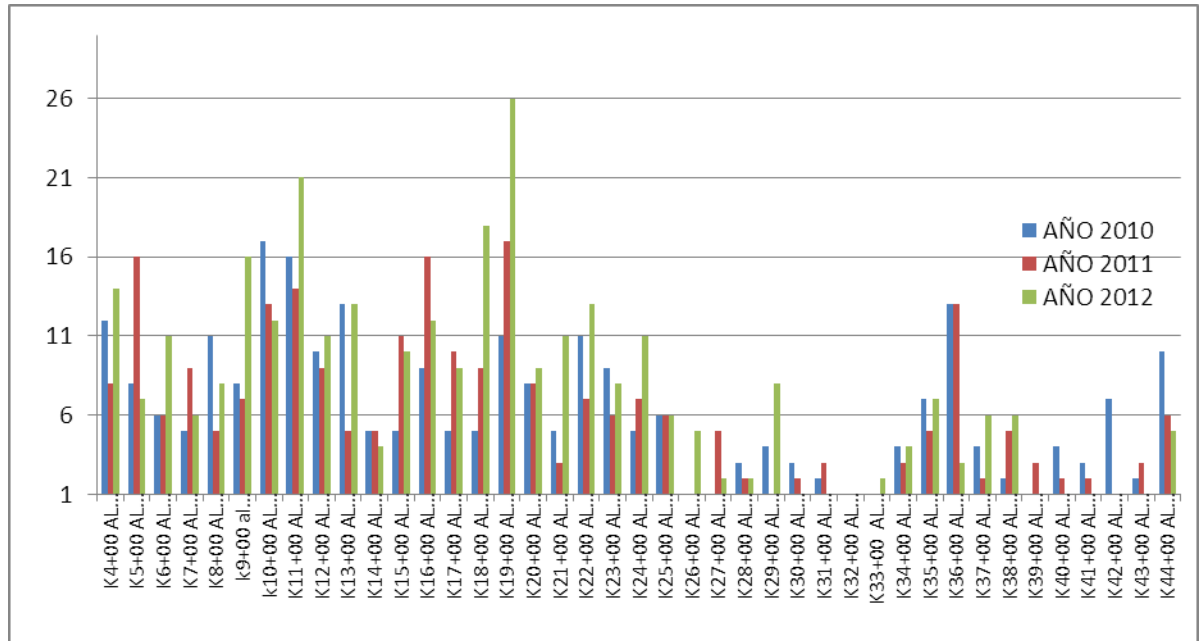
6.1.3.5 Accidentalidad del PR4+100 al PR45+00 El estudio de accidentalidad a partir de los años 2010 al 2012 representados en el Cuadro 18 identifican los puntos críticos por tramos donde se presentan el mayor número de accidentes por año. Esto es indispensable para determinar el estudio de la vía en cuanto a la probabilidad de ocurrencia del accidente en estos sectores.

Cuadro 18. Puntos críticos de accidentalidad en el tramo de estudio

PUNTO CRITICO	2010	2011	2012	PUNTO CRITICO	2010	2011	2012
K4+00 AL K5+00	12	8	14	K36+00 AL K37+00	13	13	3
K5+00 AL K6+00	8	16	7	K37+00 AL K38+00	4	2	6
K6+00 AL K7+00	6	6	11	K38+00 AL K39+00	2	5	6
K7+00 AL K8+00	5	9	6	K39+00 AL K40+00	1	3	1
K8+00 AL K9+00	11	5	8	K40+00 AL K41+00	4	2	1
k9+00 al k10+00	8	7	16	K41+00 AL K42+00	3	2	1
k10+00 AL K11+00	17	13	12	K42+00 AL K43+00	7	1	0
K11+00 AL K12+00	16	14	21	K43+00 AL K44+00	2	3	0
K12+00 AL K12+300 CHIPAQUE	10	9	11	K44+00 AL K45+00 PUENTE QUETAME	10	6	5
TOTAL TRAMO 1	88	87	106	TOTAL TRAMO 3	76	61	55
K12+300 AL K13+00	0			TOTAL ACCIDENTES POR AÑO	261	258	311
K13+00 AL K14+00	13	5	13	Accidentes por km/año	0,006	0,006	0,008
K14+00 AL K15+00	5	5	4				
K15+00 AL K16+00	5	11	10				
K16+00 AL K17+00	9	16	12				
K17+00 AL K18+00	5	10	9				
K18+00 AL K19+00	5	9	18				
K19+00 AL K20+00	11	17	26				
K20+00 AL K21+00	8	8	9				
K21+00 AL K22+00	5	3	11				
K22+00 AL K23+00	11	7	13				
K23+00 AL K24+00	9	6	8				
K24+00 AL K25+00	5	7	11				
K25+00 AL K26+00 CAQUEZA	6	6	6				
TOTAL TRAMO 2	97	110	150				
K26+00 AL K27+00	0	1	5				
K27+00 AL K28+00	1	5	2				
K28+00 AL K29+00	3	5	2				
K29+00 AL K30+00	4	2	8				
K30+00 AL K31+00	3	2	0				
K31+00 AL K32+00	2	3	1				
K32+00 AL K33+00	0	1	1				
K33+00 AL K34+00	1	1	2				
K34+00 AL K35+00	4	3	4				
K35+00 AL K36+00	7	5	7				

Fuente. Elaboración Propia

Figura 19. Puntos de accidentalidad del PR4+100 al PR45+00



Fuente. Elaboración propia

Los datos de accidentalidad en la ruta del PR4+000 (salida túnel Boquerón) al PR45+00 (peaje Puente Quetame indican que los puntos de mayor accidentalidad están en la abscisa del PR19+00 al PR20+000. El año 2010 se presentaron 11 accidentes, en el año 2011 con 17 accidentes y el 2012 se presentaron 26 accidentes. El promedio de los accidentes ocurridos en los tres años de estudio es de 18 accidentes equivalente 6,47% los accidentes ocurridos en los tres años.

El segundo punto con mayor accidentalidad está localizado entre el PR11+00 al PR12+00. Los accidentes en este punto en el año 2010 fueron 16; en el 2011 se presentaron 14 accidentes y en el año 2012 los accidentes ocurridos fueron 21. El promedio de accidentes en los tres años son 17, con 6,11% de los accidentes ocurridos desde los año 2010 al 2012.

6.1.3.6 Determinación de los accidentes con víctimas en la ruta de estudio.

En el Cuadro 19 se presenta el número de accidentes con víctimas que se presentan en la ruta de estudio en los dos sentidos por cada kilómetro de vía, esto permite determinar el grado de peligrosidad de un trayecto o de una vía.

Cuadro 19. Número de accidentes con víctimas en el tramo de estudio

ABSCISA	Año 2010			Año 2011			Año 2012		
	Muertos	Graves	Heridos leves	Muertos	Graves	Heridos leves	Muertos	graves	heridos leves
K4+00 AL K5+00		1	2						1
K5+00 AL K6+00		2	1		2	3			3
K6+00 AL K7+00			1		1	1			
K7+00 AL K8+00		3			1	2			1
K8+00 AL K9+00		2	3		1	3		1	2
k9+00 al k10+00		1	3					2	
k10+00 AL K11+00	1	1	4		3	4		2	2
K11+00 AL K12+00		4	5		3	1	1	4	2
k12+00 al k12+300		2	2		2	1			
TOTAL TRAMO 1	1	16	21		13	15	1	9	11
K12+300 AL K13+00			1		1	1			3
K13+00 AL K14+00		7	1		2			1	1
K14+00 AL K15+00		3	3		2	1			
K15+00 AL K16+00	1	1	3		2	1	1		4
K16+00 AL K17+00		3	1		2	1		1	3
K17+00 AL K18+00	2			2	4	3		1	3
K18+00 AL K19+00	1	2	4		1	4	1	5	5
K19+00 AL K20+00		3	2		4	5		8	6
K20+00 AL K21+00		2	2		2	3		3	
K21+00 AL K22+00		1	3			1		2	1
K22+00 AL K23+00		1	2		1	1		1	
K23+00 AL K24+00		3	3		2	2			2
K24+00 AL K25+00	1	2	1		3			2	2
K25+00 AL K26+360		1	1		1	2			2
TRAMO 2	5	29	27	2	27	25	2	24	32
K26+360 AL K27+00		1			1	1			
K27+00 AL k28+00			1		1	1		1	2
K28+00 AL K29+00		1	2	1	2	1			0
K29+00 AL K30+00		2	2		1	1	1	3	2
K30+00 AL K31+00		2			1	1			
K31+00 AL K32+00			1						
K32+00 AL K33+00			1						1
K33+00 AL K34+00		1			1				2
K34+00 AL K35+00		3			2	2		3	1
K35+00 AL K36+00		2	4	1		2		2	1
K36+00 AL K37+00		1	7	1	4	2			1
K37+00 AL K38+00		2			1	1		1	
K38+00 AL K39+00			2		1	2		1	
K39+00 AL K40+00					2	1			1
K40+00 AL K41+00		1	1			2			1
K41+00 AL K42+00		1	1			1			
K42+00 AL K43+00		1	1	1				1	1
K43+00 AL K44+00		2	1		1	1			1
K44+00 AL K45+00	2	2	1			3			
TRAMO 3	2	22	25	4	18	22	1	12	14

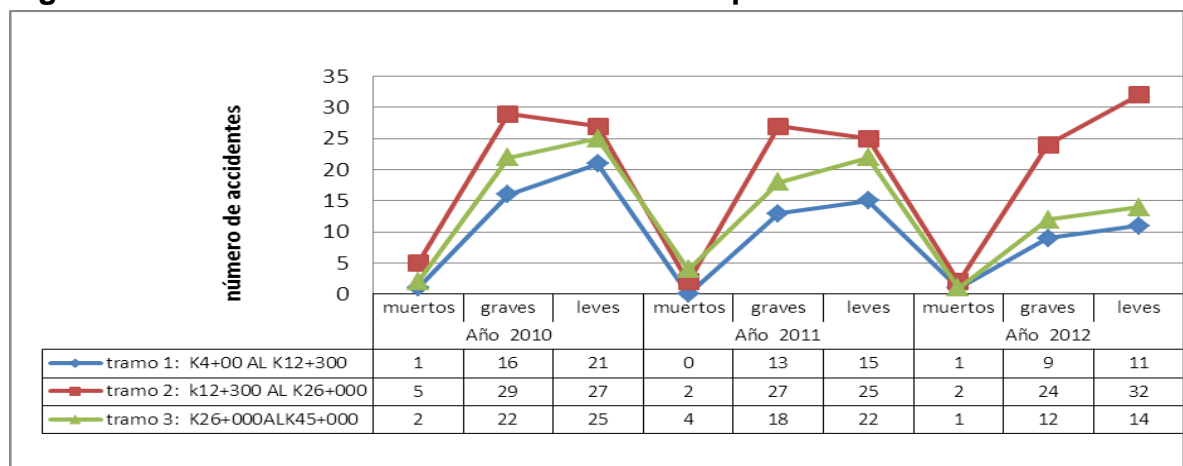
Fuente. Elaboración propia

Según el Cuadro 19 en el año 2010, en el tramo Uno (1), del salida del túnel de Boquerón a Chipaque, el punto crítico se encuentra del PR11+00 al PR12+300 con total de 9 accidente con víctimas; en el tramo dos (2) de Chipaque (PR12+300) a Caqueza (PR26+00) el punto crítico es del PR18+00 al PR19+00 con un total de siete accidentes con víctima (7), el tercer sector de Caqueza (PR26+00) al Peaje de Puente Quetame (PR45+00) el punto de mayor accidentalidad es del PR44+00 al PR45+00 con total de 5 accidentes de las cuales 2 son fatales.

En el año 2011 se contempla que el punto crítico del tramo 1, corresponde a la abscisa del PR10+00 al PR11+00 con total de siete (7) accidentes; en el tramo 2 el punto crítico está en la abscisa del PR17+00 al PR18+00 con nueve accidentes de los cuales dos(2) son fatales; en el tramo 3 el mayor número de accidentes con víctimas se presentó en el PR36 al PR37+00 con siete accidentes y uno es fatal.

El año 2012 el tramo 1 el punto crítico es del PR11+00 al PR12+00 con siete accidentes con víctimas de los cuales uno es fatal; el tramo 2 el punto crítico se encuentra en el PR18+00 al PR19+00 con 11 accidentes de donde uno (1) es fatal, cinco (5) son graves y cinco leves (5); en el tramo 3 el punto crítico está en el PR29+00 al PR30+00 con seis accidentes considerando uno fatal, tres graves y dos leves.

Figura 20. Número de accidentes con víctimas por tramo de estudio



Fuente. Elaboración propia

En la Figura 20 se puede identificar que el tramo de mayor accidentalidad en la ruta de estudio es el tramo 2 de Chipaque PR12+300 a Caqueza en el PR26+00, el cual durante los tres años de estudio presenta los mayores valores de accidentes con víctimas, aportando 9 accidentes con muertes fatales, 80 accidentes con víctimas graves y 84 accidentes con heridos leves.

6.1.3.7 Indicadores de accidentalidad por tramo y año. Los indicadores de accidentalidad permitirán medir el peligro de la carretera en su estado de operación en el tramo de estudio salida Túnel de Boquerón al peaje de Puente Quetame

❖ *Índice de peligrosidad*

Pat: (Índice de peligrosidad de accidentes totales)

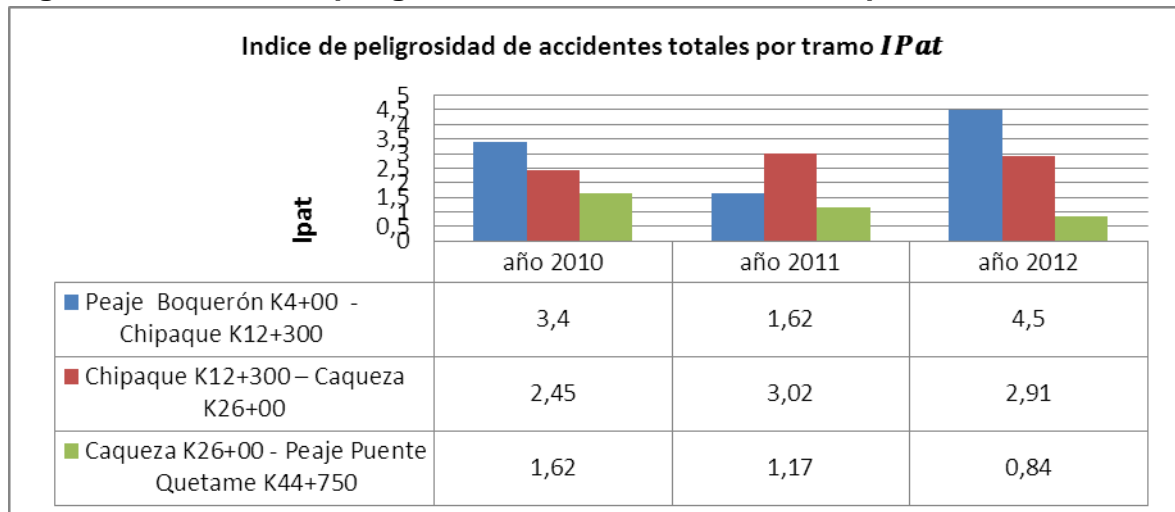
$$IPat = (10^6 \cdot N) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad (1)$$

Cuadro 20. Índice de peligrosidad de accidentes totales por tramo

<i>TRAMO</i>	<i>N : tabla 15</i>	<i>TPD</i> (Vehículos/día)	<i>L</i> km	<i>IPat</i>
Año 2010				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	88	8.520	8.3	3,4
Tramo 2 Chipaqué PR12+300 – Caqueza PR26+00	97	7.905	13.7	2,45
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	76	6.842	18,75	1,62
Año 2011				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	87	9.500	8.3	3,02
Tramo 2 Chipaqué PR12+300 – Caqueza PR26+00	110	8.694	13.7	2,5
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	61	7.599	18,75	1.17
Año 2012				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	106	10.915	8.3	4,5
Tramo 2 Chipaqué PR12+300 – Caqueza PR26+00	150	10.294	13.7	2,91
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	55	9.559	18,75	0,84

Fuente. Elaboración propia

Figura 21. Índices de peligrosidad de accidentes totales por tramo



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos se identifican que el tramo de estudio el índice de peligrosidad para el tramo del peaje de Boquerón a Chipaque se presenta una disminución en el 2011 y el 2012 se presentó un incremento considerable, este con el aumento del parque automotor en este tramo.

El tramo de estudio Chipaque a Caqueza el índice de peligrosidad presenta variaciones no considerables y siendo el año 2011 como uno de los sectores críticos.

El tramo de Caqueza a Puente Quetame, presenta una reducción de puntos críticos, presentando una relación con el Cuadro 18 donde es el sector de menor accidentalidad.

❖ *Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas.*

El 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.

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

Dónde:

Nv (Número de accidentes con víctimas)= AF + AS

AF Accidentes Fatales.

AS Accidentes Serios

TPD Tráfico promedio

L Longitud del tramo (km).

Cuadro 21. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas por tramo

TRAMO	Nv	TPD (Vehículos/día)	L km	$IPav$
Año 2010				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	17	8.520	8.3	0,65
Tramo 2 Chipaque PR12+300 – Caqueza PR26+00	34	7.905	13.7	0,86
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	24	6.842	18,75	0,51
Año 2011				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	13	9.500	8.3	0,45
Tramo 2 Chipaque PR12+300 – Caqueza PR26+00	52	8.694	13.7	1,19
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	22	7.599	18,75	0,42
Año 2012				
Tramo 1 Peaje Boquerón PR4+00 - Chipaque PR12+300	10	10.915	8.3	0,30
Tramo 2 Chipaque PR12+300 – Caqueza PR26+00	26	10.294	13.7	0,50
Tramo 3 Caqueza PR26+00 - Peaje Puente Quetame PR44+750	13	9.559	18,75	0,19

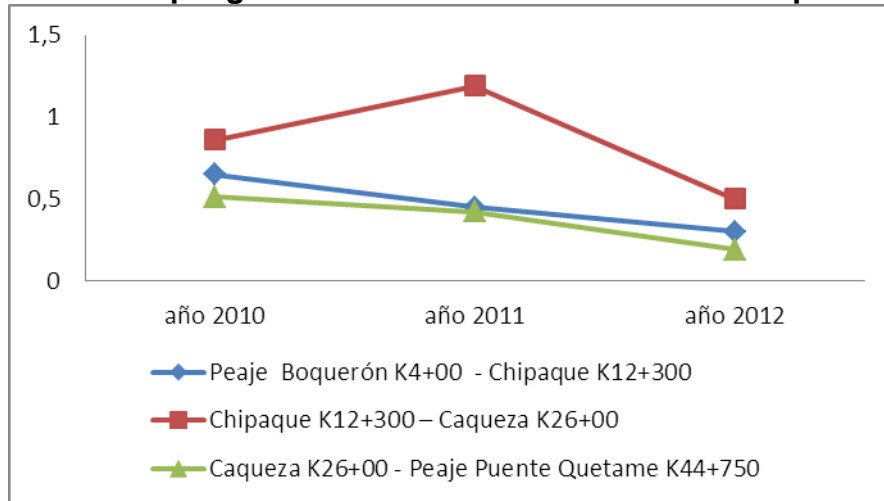
Fuente. Elaboración propia

En el Cuadro 21 se representa el cálculo del índice de peligrosidad con víctima por año y por tramo. Los datos de número de accidentes con víctimas (Nv), se tomó como datos los obtenidos en la figura 20 considerando el número de accidentes con víctimas fatales y heridos graves.

De acuerdo a los resultado obtenidos se considera que el tramo dos correspondiente al tramo de Chipaque PR12+300 a Caqueza PR26+00, presenta los mayores índices de peligrosidad en los años de estudio,

presentándose el 2011 con el mayor valor, el cual indica que es un punto crítico.

Figura 22. Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas por tramo



Fuente. Elaboración propia

❖ *Índice de severidad.*

El Índice de severidad (IS), permite en el tramo de estudio relacionar el número equivalente de *accidentes* de tránsito registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector; este estudio se realizará para el año 2010, 2011 y 2012 en los trayectos de estudio considerando los accidentes en ambos sentidos.

$$IS = 10^6 ((9.AF) + (1,5.AS) + ASimp)$$

Los parámetros a tener en cuenta para su cálculo son:

IS Índice de severidad

AF Accidentes fatales

AS Accidentes serios

ASimp Accidentes simples

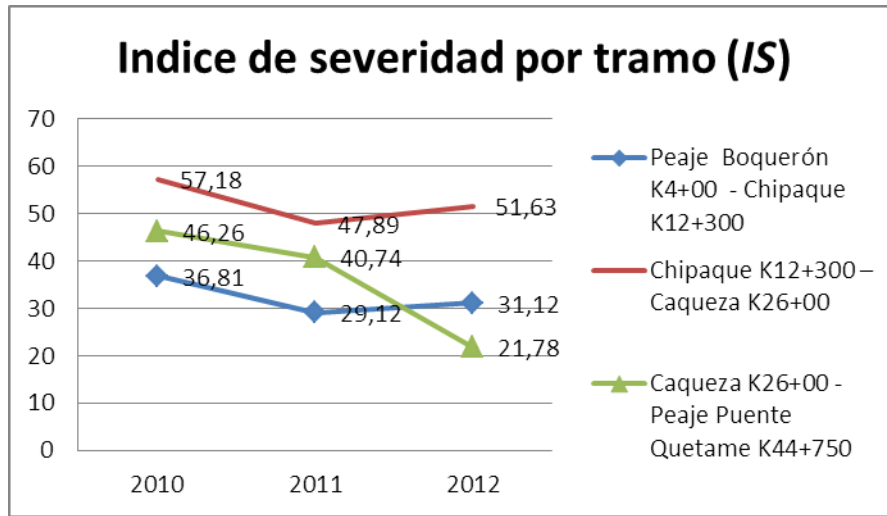
En el Cuadro 22 se identifica los índices de severidad por tramo considerando los datos de la Figura 20 correspondiente a accidentes fatales se toma como (AF), los datos de accidentes serios (AS), son tomados del Cuadro 19 de los cuales se descuenta el número de accidente serios, heridos graves y leves.

Cuadro 22. Índice de severidad por tramo

<i>TRAMO</i>	<i>AF</i>	<i>AS</i>	<i>ASimp</i>	<i>TPD</i>	<i>IS</i>
Año 2010					
Tramo 1 Peaje Boquerón K4+00 - Chipaque K12+300	1	37	50	8.520	36,81
Tramo 2 Chipaque K12+300 – Caqueza K26+00	5	56	36	7.905	57,18
Tramo 3 Caqueza K26+00 - Peaje Puente Quetame K44+750	2	47	27	6.842	46,26
Año 2011					
Tramo 1 Peaje Boquerón K4+00 - Chipaque K12+300	0	28	59	9.500	29,12
Tramo 2 Chipaque K12+300 – Caqueza K26+00	2	52	56	8.694	47,89
Tramo 3 Caqueza K26+00 - Peaje Puente Quetame K44+750	4	40	17	7.599	40,74
Año 2012					
Tramo 1 Peaje Boquerón K4+00 - Chipaque K12+300	1	20	85	10.915	31,12
Tramo 2 Chipaque K12+300 – Caqueza K26+00	2	56	92	10.294	51,63
Tramo 3 Caqueza K26+00 - Peaje Puente Quetame K44+750	1	26	28	9.559	21,78

Fuente. Elaboración Propia

Figura 23. Índice de severidad por tramo



Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 23 se observa que el índice de severidad mayor en los años 2010, 2011 y 2012 se presenta en el tramo de Chipaque PR12+300 al PR26+00. El año más crítico del sector se presentó en el 2010 con 57,18 accidentes por año. En el 2012 se presentó el más bajo con 21,78 accidentes por año en el tramo Caqueza- Puente Quetame.

6.2 ANÁLISIS DE LA VÍA ACTUAL

Descripción de estado actual de la infraestructura en ruta de estudio salida Túnel Boquerón hasta el Peaje de Puente Quetame del k4+100 al k45+00

En el estudio visual de la ruta en estudio en etapa de operación, se inspecciono la infraestructura de la vía, para la determinación de amenaza de accidentalidad por defectos del diseño geométrico, estructuras al borde debía, señalización y el medio ambiente en la zona de influencia que pueden contribuir en la accidentalidad y que pueden contribuir a una probabilidad de ocurrencia de un accidente para los usuarios de la vía.

Los factores analizados en la etapa de operación son:

- Diseño geométrico: ancho de calzadas y carriles, bermas, cunetas, velocidad del proyecto, características de los alineamientos y accesos a la vía
- Señalización: horizontal y vertical
- Elementos peligros a borde de vía
- Cruces y pasos por poblaciones.

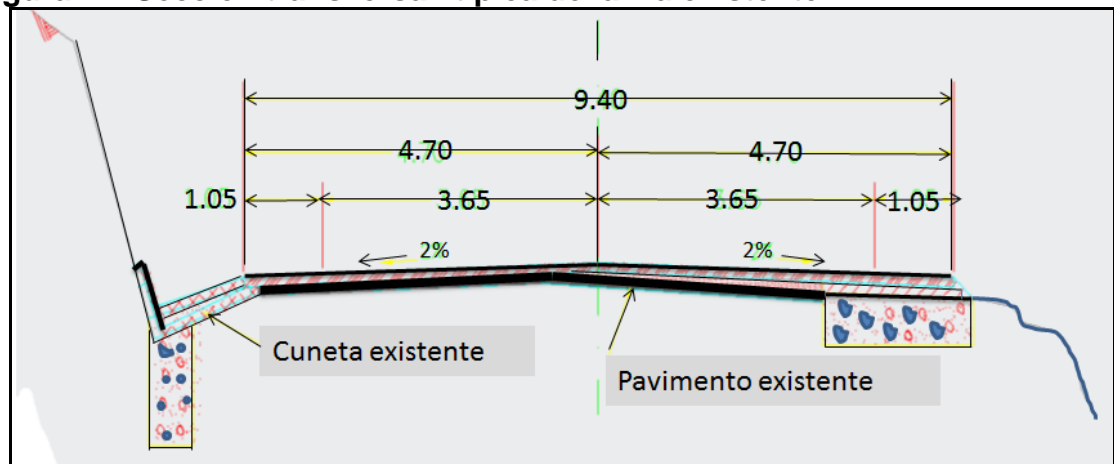
De acuerdo a los factores anteriores las características generales del tramo de la salida del túnel de Boquerón y Puente Quetame son:

- Topografía: montañosa en tramos iniciales PR 4+100 al PR 12+00 y de este hasta el PR 45+00 tiende a ser escarpada.
- Tráfico: Bidireccional en una calzada
- Ancho de calzada: 7,30m
- Ancho de carriles: 3,65m
- Número de carriles: 2 y se encuentran tramos de la ruta Villavicencio – Bogotá en dos carriles.
- Bermas: variable de 1,0 m a 1,80m
- Elementos de drenaje: cunetas a borde de la berma
- Pasos por poblaciones: 2

- Accesos: 410 accesos a la vía principal por comercio, estaciones de servicio, lavaderos e ingreso a zonas veredales
- Superficie de rodadura: asfáltica en todo el tramo y se encuentra en buenas condiciones
- Separadores no existen. Lo cual se puede tener la probabilidad de choque frontal a velocidades mayores de 60km/hora.
- Velocidad de diseño. Debido a la topografía es variable con tramos de velocidad de 70Km/hora, 60km/hora y 50km/hora
- Construcción de la vía en media ladera

En la Figura 24 se puede observar una sección transversal típica de la vía, con la identificación de taludes de cortes, calzada con dos carriles, cunetas y bermas

Figura 24. Sección transversal típica de la vía existente



Fuente: Coviandes.

- Presencia de obstáculos y zonas despejadas: La vía actualmente se identifica obstáculos peligrosos sin ningún tipo de demarcación como los observados en la figura 25 y ausencia de zonas despejadas.

Figura 25. Estructuras hidráulicas en borde de berma PR4+500



Fuente. Elaboración propia

A continuación se presenta el estado actual de la ruta de estudio en los tramos analizados en el estudio de accidentalidad.

Los tramos de estudio son:

- Peaje de Boquerón PR4+00 a Chipaque PR12+300
- Chipaque PR 12+300 a Caqueza PR 26+00
- Caqueza PR 26+00 a Puente Quetame PR44+750

6.2.1 Características del tramo PR 4+100 Peaje de Boquerón al PR12+300 Chipaque

Cuadro 23. Descripciones del tramo PR4+100 a PR12+300

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	PR4+000 al PR12+300
Longitud del tramo	8,3 Km
Dirección del tramo	Bogotá - Villavicencio - Villavicencio Bogotá
Tipo de terreno	Montañoso
Funcionalidad	Ruta nacional 40.
Número de Calzada	1
Número de carriles	3 carriles hasta el K6+00 y 2 carriles

Carriles de aceleración y desaceleración	No tienen
Velocidad de diseño	70 Km/hora, se marcaron velocidades mayores a esta
Ancho de calzada	7,30m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	Variable, K4+100, k4+500, es de 1,0m
Ancho de la corona	9,40 m
Separador	No se evidencia
Pendiente longitudinal	7% puntos del 9% descendente Bogotá-Villavicencio
Radio de la curva	Se presentan variaciones en los radios de curvatura pasando de curvas cerradas a curvas amplias PR 22+800
Peraltes en la curva 1	2% y 7%
Sobre anchos	No se evidencia.
Zonas despejadas	No tiene
Accesos	20 accesos peligros en los PR 8+800, PR10+200,PR10+750, PR10+800 Intersección a 90° sin señalización; PR 11+400, PR12+100, se presenta isleta peligrosa con presencia de arboles, postes y disminución de carril a 3,35
Paso a desnivel	No hay
SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Visibilidad	Las señales presentan problemas de bandalismo y visibilidad como PR6+400
Consistencia de la señal	PR11+020, se encuentra la señal SP-20, que indica aproximación a una glorieta, en este punto no está diseñada una glorieta. Puntos de señalización para desvíos no es coherente con lo indicado en el manual. (Figura 27) Cuando el desvío es hacia una vía con TPD > 5.000 vehículos, se instalan tres señales: Una 1.000 m antes del desvío, la segunda a 500 m y la tercera aproximadamente en el sitio del desvío, en el PR 10+100 no cumple. PR+ con una señal SP02 Induciendo a la derecha y la vía muestra curva a la izquierda. PR10+200 Señal de SOS en inicio de curva sin posibilidad que el carro se pueda estacionar. PR11+700 Se identifica un cruce peatonal en curva. Las señales elevadas con croquis no son claras para realizar los giros y cruces.
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcaciones	Se presenta una buena demarcación y de buena reflectividad en la noche
ELEMENTOS A BORDE VÍA	
Cunetas	Se presentan en forma triangular en la mayoría de la longitud del tamo. Estructuras hidráulicas que educen el ancho de la bermas y sin demarcación.
Pasa cunetas	
Cabezales de alcantarillas	Sobresalen de 10 a 20 cm al borde de carretera PR4+500, PR9+400

Muros	Se encuentran instaladas barreras imitación New Jersey, a borde de vía las cuales no funcionan como sistemas de re direccionamiento, ya que se encuentran separadas. PR5+00, PR8+250,PR+300, PR10+00
Taludes de corte	
Defensas metálicas	Se observan muchos sitios en los cuales no hay continuidad y por el contrario hay interrupción en la transmisión de esfuerzos lo que las hace inoperantes PR4+360,PR5+380,PR6+200, PR10+600,PR11+00
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	El estado en general es bueno. Se presentan cambios en la superficie por fallas geológicas. En el recorrido se identifico que los carros disminuyen la velocidad en estos puntos siendo causas de choque parte trasera. PR6+800,PR10+700
PRESENCIA DE PEATONES	En las poblaciones PR12+200

Fuente. Elaboración propia

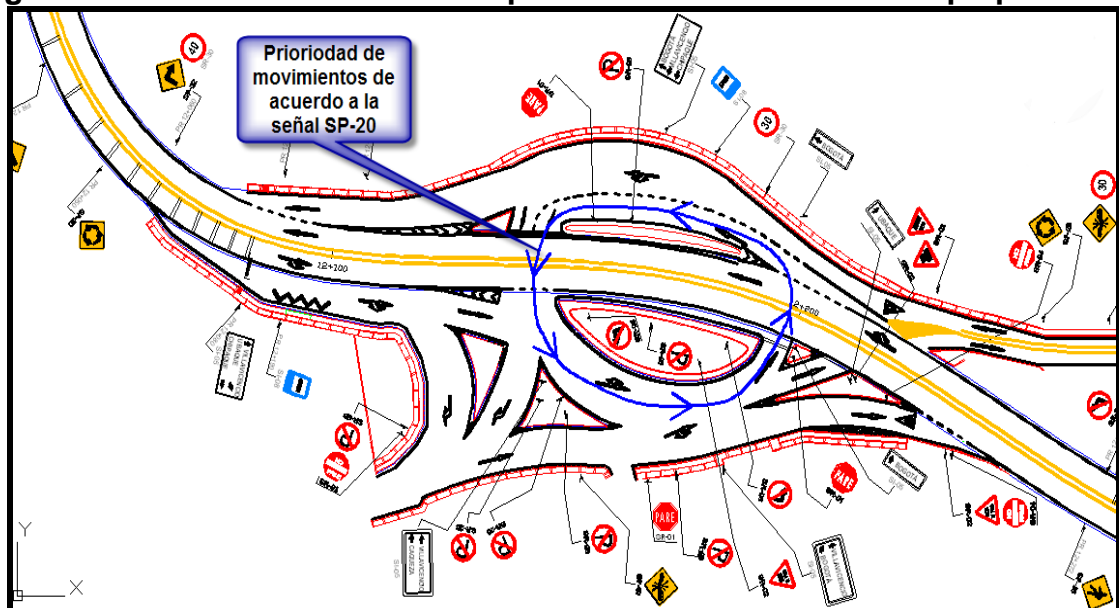
Evaluación general del tramo de acuerdo a lo obtenido en el Cuadro 23:

Se considera que el tramo presenta puntos peligrosos debido a:

- **Accesos no controlados:** El riesgo de accidente es alto por entrecruzamiento de vehículos, choques laterales y traseros, entre otros.
- **Se presentan accesos en curvas con el riesgo de accidentalidad,** por falta de visibilidad y velocidades demarcadas de 70Km/hora
- **Carriles de aceleración y de desaceleración:** No se encuentran en los tramos de pendientes altas y en los puntos de acceso aumentando la probabilidad de accidentalidad por ser una vía de una sola calzada
- **Se presentan curvas con radios cortos e igualmente con poca visibilidad debido a taludes de corte muy cercano a la calzada**
- **Se presentan variaciones de velocidad en los tramos donde se pasa de curvas de radios muy cortas a otras de curvas de radios amplios.**

- Las curvas no presentan sobre ancho, presentando problemas de invasión de carril por parte de vehículos pesados.
- Se presenta variación en los anchos de carril en el tramo Villavicencio Bogotá donde se pasa del carril interno de 3,40m y el carril externo 3,50 y bajando de 3,65m
- La señalización vertical presenta confusiones en cruces y desvíos a la izquierda sin carril de desaceleración
- Señalización elevada el manual indica que las señales SI-06 no debe informar máximo tres localidades y en muchas de estas se muestran hasta cuatro localidades

Figura 26. Señalización SP20 en el punto de intersección de Chipaque



Fuente FPV.

6.2.2 Características del tramo PR12+300 Chipaque al PR26+00 Caqueza

Ver Cuadro 24.

Cuadro 24. Descripciones del tramo PR 12+300 a PR26+00

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	PR12+300 a PR26+00
Longitud del tramo	13,7 Km
Dirección del tramo	Bogotá - Villavicencio - Villavicencio Bogotá
Tipo de terreno	Montañoso
Funcionalidad	Ruta nacional 40.
Número de Calzada	1
Número de carriles	3 carriles desde el PR15+200 A PR16+200 dos carriles Bogotá Villa PR17+00 incia doble calzada en los dos sentidos a PR19+200 sin separador Inicio de dos carriles en bajada desde PR22+00
Carriles de aseleración y desaceleración	No tienen
Velocidad de diseño	70 Km/hora marcada en la señalización. La velocidad de operación se marco en 80 y 90 km/hora siendo mayor a la recomendada.
Ancho de calzada	7,30m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	Variable, K4+100, k4+500, es de 1,0m , No hay presencia del PR17+00 al PR19+100
Ancho de separador	Sin separador en todo el recorrido
Pendiente longitudinal	7%, curva vertical corta con resalto.PR24+400
Radio de la curva	Radios de curvatura varían entre 100 m y 200m y Se pueden identificar entretangencias cortas debido a la topografía del trayecto. PR14+300 , PR14+500 PR18+400 , PR18+800 ,PR19+700, PR23+500, PR24+00 ,PR26+00 Curva sin visibilidad PR15+100, PR15+600, PR16+700, PR17+140, PR17+800, PR18+700, PR 19+200, PR23+100, PR 24+600, PR 25+500, PR 25+800 Radios cortos con poca visibilidad y pendientes altas
Peraltes en la curva 1	2% y 7%
Zonas despejadas	No tiene
Accesos	Accesos peligrosos en los PR13+300, PR13+600,PR13+800(estación de servicio), Acceso vivienda PR14+190, PR14+300, PR15+300 PR15+500 ,PR16+500 ,PR16+800 Acceso vía Villavicencio-Bogota PR14+400,PR14+700 Intersección en curva PR19+110, PR19+250, PR19+400 Ingreso a carril con giro a la izq Villa-Bogotá, PR23+300
SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Visibilidad	PR13+200 señal SI05 Plano de intersección de retorno pero no hay forma como realizar el retorno, presentando peligro.
Consistencia de la señalización	PR13+100 Presencia de una señal no incluida en el manual de señalización con giro en U en una carretera bidireccional PR13+200 Poste de SOS con señalización de velocidad de 60km/h, sin berma.

	<p>PR13+500 Se presenta confunción en dos señales que presenta intersecciones SP11 Y SP12.</p> <p>PR13+500 presenta señal de mapa de retorno con giro U</p> <p>PR13+600 SP17 donde se presenta un entrecruzamiento.</p> <p>Pr13+640 señal SP13</p> <p>PR 13+680 con una señal SP12,</p> <p>PR15+700, PR17+700 señal SP 47 en curva y alta velocidad.</p> <p>PR 19+400 con señal SP-16 en curva .</p> <p>PR16+700 Señal SR 30 de 70 km/hora al inicio de la curva.</p> <p>PR19+600 se indica una seña SP-09 instalada en un curva a la derecha siendo contrario a lo que muestra la señal.</p> <p>A lo largo del PR19+00 se encuentran señales SP-67 (prevención de accidentes de choque)y debe ir acompañada de una SR-30 en la cual no aparece a lo largo del tramo.</p> <p>PR21+110 señal SP-07 No concuerda con el trazado de la vía</p> <p>PR25+400 SI-05, no cumple con lo estipulado en el manual en cuanto a que las señales informativas elevadas, Cuando el desvío es hacia una vía con TPD > 5.000 vehículos, se instalan tres señales: Una 1.000 m antes del desvío, la segunda a 500 m y la tercera aproximadamente en el sitio del desvío.</p> <p>PR25+600 señal SP 07 Inconsistente con el trazado y se recomienda estar acompañada de un señal SR-30</p>
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	
Demarcaciones	No presenta línea de borde PR13+300, PR13+700 demarcación no consiste, Perdida de pintura central PR14+600, PR17+300, PR18+200, PR19+700, PR21+900, PR24+500 (Doble marcación),PR25+600
ELEMENTOS A BORDE VÍA	
Cunetas	Se establecen en el borde la vía PR15+140 VILL-BOG,
Cabezales de Alcantarilla	PR17+140, PR20+100 , PR24+200 , PR25+500, PR25+550 Vill-Bogotá,
Pasa cunetas	Se identifican en los ingresos a los locales, pasacunetas peatonales. PR20+100, PR21+500. PR23+200
Muros en concreto	Gaviones PR16+600 Se encuentran instaladas barreras imitación New Jersey, a borde de vía las cuales no funcionan como sistemas de re direccionamiento, ya que se encuentran separadas.PR19+200. PR20+100, PR20+700, PR22+700, PR25+500
Taludes de corte	PR14+300,PR14+500, PR17+140 Taludes de V:1, H:1. En los cortes en roca se presentan taludes con inclinación variable entre V:1, H:0.5 y V:1, H:1.
Árboles, postes	PR13+100 postes de alumbrado, PR13+900, PR14+700, , PR17+140, PR17+800, PR18+0 Poste de SOS sin berma para estacionamiento. PR15+600 Árboles cerca a la vía.
Defensas metálicas	PR13+900, la terminación es en punta. Se observan muchos sitios en los cuales no hay continuidad y por el contrario hay interrupción en la

	transmisión de esfuerzos lo que las hace inoperantes PR14+600,PR15+800, PR18+960,PR19+110,PR19+700, PR20+100, PR22+200, PR24+460, PR25+300 PR24+300, (la curvatura de la defensa disminuyendo la berma)
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	Se presenta cambio de altura del borde de la vía con la cuneta PR15+120, El estado en general es bueno. Se presentan cambios en la superficie por fallas geológicas. En el recorrido se identifico que los carros disminuyen la velocidad en estos puntos siendo causas de choque parte trasera. PR19+110, PR19+600, PR20+760, PR22+220,PR23+580, PR24+200,PR25+00
PRESENCIA DE PEATONES	PR16+110, en las poblaciones PR19+300, PR20+200 Se presenta zona de parqueo vehiculo pesado PR19+200, PR19+300,PR20+700, PR25+600,PR25+500 SP-47 Sin la debida demarcación,

Fuente. Elaboración propia

Evaluación general del tramo de acuerdo a lo obtenido en el Cuadro 24:

- Pendientes de descenso elevadas con aumento de velocidades.
- Tramos con dos carriles en la misma dirección sin separador central.
- Accesos no controlados: El riesgo de accidente es alto por entrecruzamiento de vehículos, choques laterales y traseros, entre otros.
- Se presentan accesos en curvas con el riesgo de accidentalidad, por falta de visibilidad y velocidades demarcadas de 70Km/hora
- Carriles de aceleración y de desaceleración: No se encuentran en los tramos de pendientes altas y en los puntos de acceso aumentando la probabilidad de accidentalidad por ser una vía de una sola calzada
- Se presentan curvas con radios cortos e igualmente con poca visibilidad debido a taludes de corte muy cercano a la calzada

- Se presentan curvas verticales con poca visibilidad
- Se presentan variaciones de velocidad en los tramos donde se pasa de curvas de radios muy cortas a otras de curvas de radios amplios.
- Las curvas no presentan sobre ancho, presentando problemas de invasión de carril por parte de vehículos pesados.
- La señalización vertical presenta confusiones en cruces y desvíos a la izquierda sin carril de desaceleración
- Señalización elevada el manual indica que las señales SI-06 no debe informar máximo tres localidades y en muchas de estas se muestran hasta cuatro localidades
- Presencia de peatones en la vía aumentando el riesgo de accidentes
- Barreras de concreto tipo New Jersey sin ninguna funcionalidad.
- Demarcación horizontal confusa en determinados tramos
- Postes y árboles a borde de vía.

6.2.3 Características del tramo PR26+000 Caqueza al PR44+750 Puente Quetame

Cuadro 25. Descripciones del tramo PR26+00 AL PR44+750

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	PR 26+000 A PR44+750
Longitud del tramo	18,75 Km
Dirección del tramo	Bogotá - Villavicencio - Villavicencio Bogotá
Tipo de terreno	Montañoso
Funcionalidad	Ruta nacional 40.
Número de Calzada	1
Número de carriles	3 carriles hasta el K6+00 y 2 carriles
Carriles de aseleración y desaceleración	No tienen
Velocidad de diseño	60 y 70 Km/hora

Ancho de la corona	9,40
Ancho de calzada	7,30m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	Variable
Ancho de separador	Si separamor en todo el recorrido
Pendiente longitudinalanal	7%
Curva vertical	PR26+600 sin señal SR 26
Radio de la curva	Se identifica en todo el recorrido curvas de radios cortos. Con problemas de visibilidad y reducción brusca de velocidades. PR26+400, PR27+400, PR27+650,PR28+00, PR28+400, PR 31+700 , PR 36+00, PR36+200,, PR36+700, PR 37+120 .PR 37+550,curva radio corto Sentido Villavicencio Bogotá PR 35+900, PR36+100,PR36+780, PR37+180. PR38+240+ PR43+300
Peraltes en la curva 1	2% y 7%
Zonas despejadas	No tiene
Accesos	accesos peligros en los PR26+400 PR33+650, PR35+400(Ingreso a canteras),PR35+200, PR 35+800 (negocios a borde de vía), PR35+900(estación de servicio)
PASO A DESNIVEL	
SEÑALIZACIÓN VERTICAL	
Visibilidad	
Inconsistencia	PR 35+00 SP 46 no estan acorde con las velocidades demarcadas en la vía.
ELEMENTOS A BORDE VÍA	
Cunetas	Se establecen en el borde la vía
Pasa cunetas	Se identifican en los ingresos a los locales, pasacunetas peatonales.PR26+400
Muros en concreto	Se encuentran instaladas barreras imitación New Jersey, a borde de vía las cuales no funcionan como sistemas de re direccionamiento, ya que se encuentran separadas PR 27+300, PR27+790
Cabezales de alacantarilla	Cabelzales sin demarcación y sobre salen del pavimento más de 10 cm presentando efecto de volcamiento,PR26+400, PR26+650,PR27+900, PR28+500
Taludes de corte	PR28+000, PR28+400
Árboles	
Defensas metálicas	PR28+200,PR41+800 No hay continuidad en las barreras presentando problemas de transmisión de esfuerzos lo que las hace inoperantes
SUPERFICIE DE RODADURA	
Estado de la superficie	PR28+400 diferencia entre le borde del pavimento y la cuneta PR26+920 Presentan cambios en la superficie por fallas geologicas. En el recorrido se identifico que los carros disminuyen la velocidad en estos puntos siendo causas de choque parte trasera. El estado en general es bueno.
PRESENCIA DE PEATONES	PR26+300 Se identifco cruces de peatones En las poblaciones PR29+00 al PR30+00 ,Caqueza entre los PR29+00 AL PR30+00 y del PR34+00 al PR38+00,PR 42+00 al PR45+00 Puente Quetame.

Fuente. Elaboración propia

Evaluación general del tramo de acuerdo a lo obtenido en el Cuadro 25:

- Pendientes de descenso elevadas con aumento de velocidades.
- Tramos con dos carriles en la misma dirección sin separador central.
- Se presentan accesos en curvas con el riesgo de accidentalidad, por falta de visibilidad y velocidades demarcadas de 70Km/hora
- Carriles de aceleración y de desaceleración: No se encuentran en los tramos de pendientes altas y en los puntos de acceso aumentando la probabilidad de accidentalidad por ser una vía de una sola calzada
- Se presentan curva horizontales con radios amplios
- Se conserva velocidades más constantes
- Las curvas no presentan sobre ancho, presentando problemas de invasión de carril por parte de vehículos pesados.
- La señalización vertical presenta confusiones en cruces y desvíos a la izquierda sin carril de desaceleración
- Señalización elevada el manual indica que las señales SI-06 no debe informar máximo tres localidades y en muchas de estas se muestran hasta cuatro localidades
- Presencia de peatones en la vía aumentando el riesgo de accidentes
- Barreras de concreto tipo New Jersey sin ninguna funcionalidad.
- Postes y árboles a borde de vía.

6.3 ANÁLISIS DEL TRAZADO GEOMÉTRICO DE LA DOBLE CALZADA EN ETAPA DE DISEÑO

6.3.1 Introducción. El diseño geométrico de una carretera debe cumplir con normativa y parámetros de seguridad para minimizar los riesgos de accidentalidad ante el factor de infraestructura.

El elemento principal para la movilidad es la infraestructura vial, la cual debe considerar el uso de los terrenos y la planificación de la red, para garantizar al usuario de la vía salvar su vida en caso de un error humano, o evitar accidentes por inconsistencias en el diseño.

Para su revisión se contemplaron las consideraciones del Manual de Diseño Geométrico del 2008 del INVIAS (Instituto Nacional de Vías).

6.3.2 Descripciones geométricas del proyecto en etapa de diseño. El análisis fue realizado con planos en medio magnético, informe de diseño geométrico suministrado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y documentos de estudio de la ruta entregado por la Corporación Fondo nacional de Prevención Vial.

Planos en medio digital:

- S1-DG-NV-PP-AC1
- S1-DG-NV-PP-AC2
- S1-DG-NV-PP-AC3
- S1-DG-NV-PP-DV1
- S1-DG-NV-PP-DV 2
- S1-DG-NV-PP-DV3

El tramo de estudio fue del K34+100 al K45+00 como corresponde a los sectores:

- Sector 1: El Tablón – Puente Téllez
- Sector 1 A: Puente Téllez – Puente Quetame
- Sector 2: Puente Quetame

En la Figura 27 se indica el tramo de estudio del proyecto en etapa de diseño de la doble calzada Bogotá- Villavicencio. Paralelo a este se presentan diseños de accesos, desvíos y retornos en los cuales se hace el análisis de algunos parámetros de diseño de estos.

Figura 27. Tramo de estudio en doble calzada PR 34+100 al PR45+00



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura.

De acuerdo a la Figura 27, el sector de estudio contempla con las siguientes obras de infraestructura:

- Sector 1: del PR34+160 al PR37+807 contempla la construcción de 3 túneles:
 - Túnel 1. La Herradura del PR35+604 al PR35+920;
 - Túnel 2. Moscosio del PR36+140 al PR36+530;
 - Túnel 3. La Culebra del PR37+170 al PR37+687

Paso a desnivel Uno

- Sector 1A: del PR37+807 al PR40+920. Este tramo contempla las siguientes obras:
 - Túnel 3A, del PR38+690 al PR40+685;
 - Retornos a nivel con carriles de aceleración y desaceleración, entre PR38+700 y el PR 39+300 se diseñaron dos retornos a nivel, con carriles especiales de aceleración y desaceleración
- El sector 2 del PR41+615 al PR44 +449, el diseño contempla la construcción de túneles ubicados en las siguientes abscisas:
 - Túnel 4, del PR41+645 al PR41+933
 - Túnel 5, del PR42+230 al PR42+495
 - Túnel 6, del PR42+550 al PR43+830.

Los parámetros del diseño geométrico contemplado en el tramo de estudio, con base al Manual Invias 2008 son:

- Clasificación de la carretera:

- Característica

- Funcionalidad

- Tipo de terreno

- Velocidad de diseño

- Diseño en plantas

- Curvas circulares
 - Corresponden a arreglos espiral-circular-espiral y espirar –espiral. Esto favorece al diseño en minimizar las longitudes de entre tangencia

 - Peraltes los establecidos en el diseño son del 8%, para la velocidad de 80km/hora y el radio menor en curvas.

 - Zonas laterales

- Consideraciones del diseño vertical
 - Curvas verticales

- Coeficiente angular (K)

- Sección transversal
 - Ancho de Zona

 - Ancho de calzada

 - Ancho de banca

 - Ancho de carril

 - Ancho de bermas

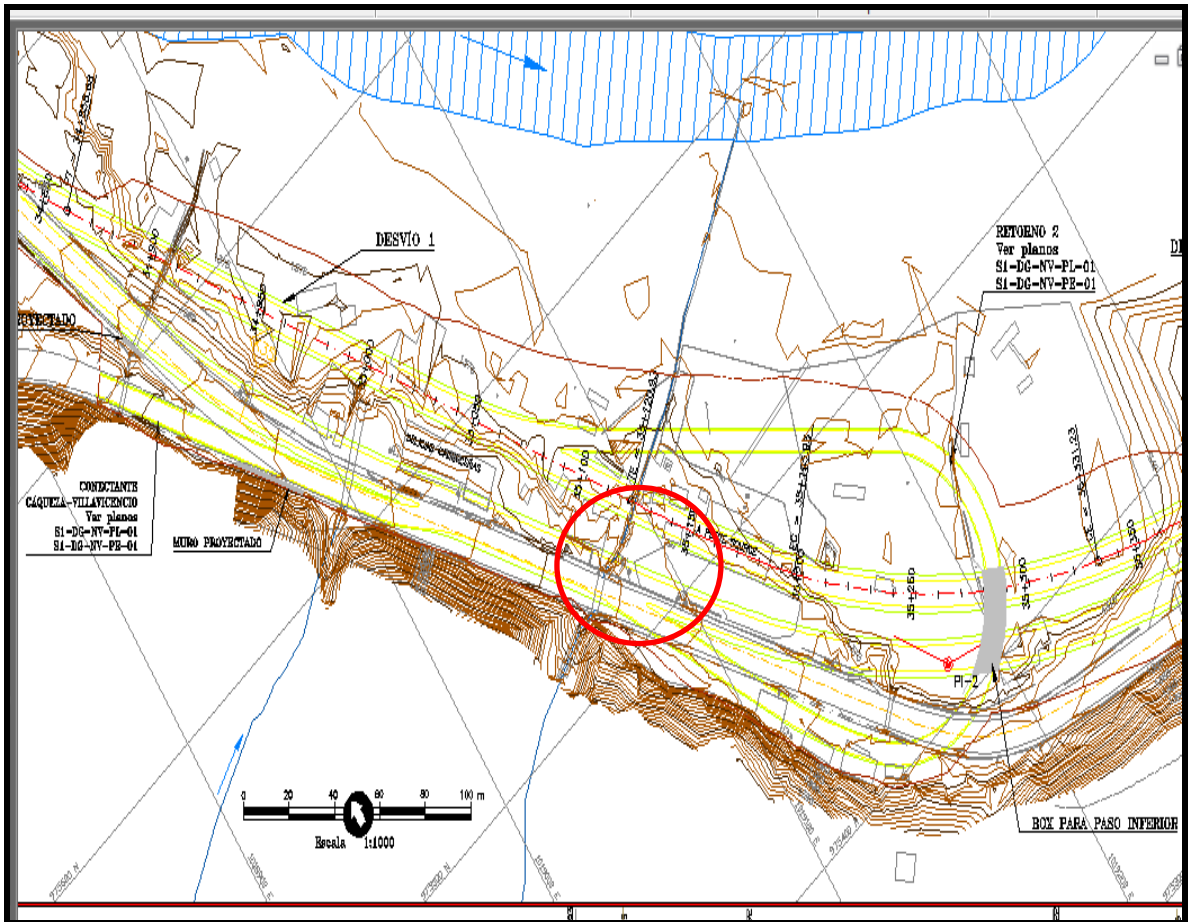
 - Cunetas

 - Taludes laterales.

- Intersecciones a nivel y desnivel

- Zonas laterales o zonas despejadas

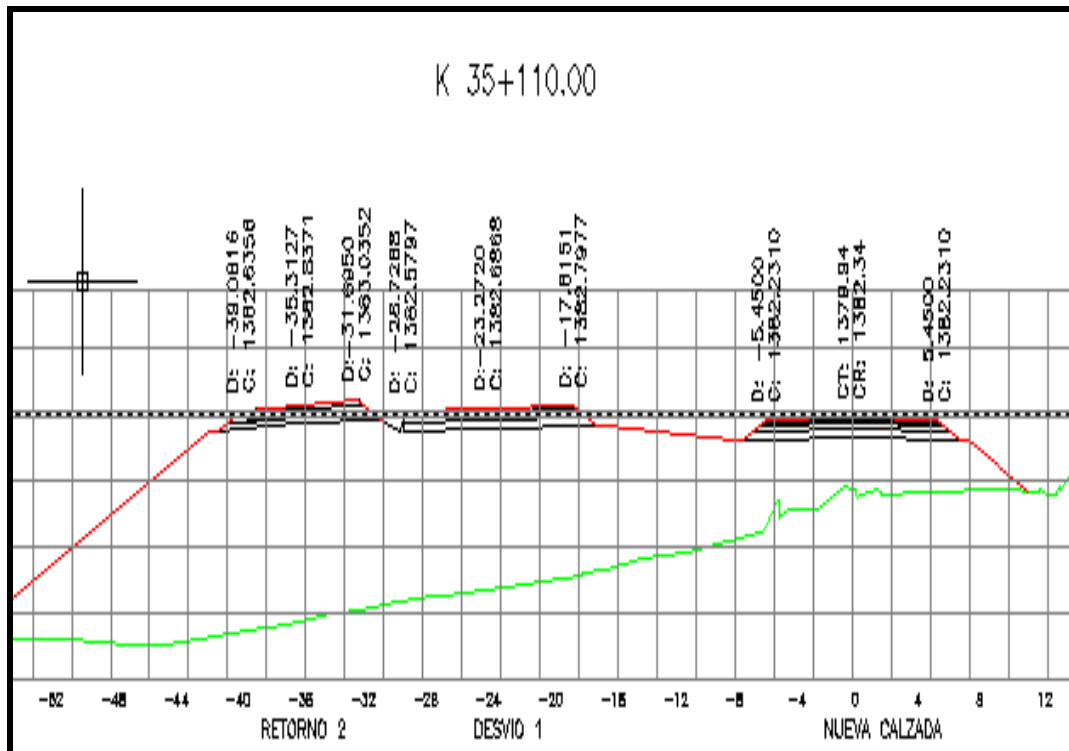
Figura 28. Estudio del sector PR34+160 a PR35+300



Fuente Plano Agencia Nacional de Infraestructura

De acuerdo a la Figura 28 el sector contempla el ingreso de los vehículos que provienen de la población de Caqueza y un retorno para la vía Villavicencio Bogotá. El punto marcado indica un entrecruzamiento para los vehículos que desean hacer el retorno y los vehículos que opten por seguir a Villavicencio.

Figura 29. Sección transversal PR35+110



Fuente. Agencia Nacional de Infraestructura. ANI

De acuerdo a la Figura 29 se observa la ausencia de zonas despejadas, la vía en varias secciones se presentan zonas de terraplén y cunetas profundas al borde de la berma.

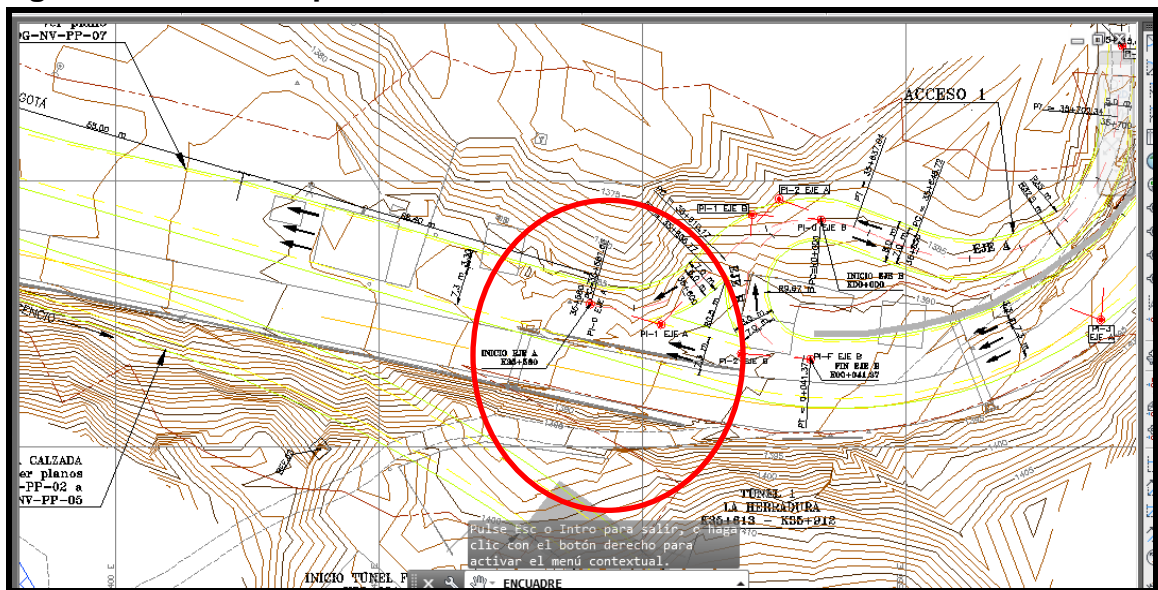
Cuadro 26. Características geométricas del diseño del PR34+160 A PR35+300

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	PR34+900 a PR35+300
Dirección del tramo	Villavicencio Bogotá y Bogotá -Villavicencio
Clasificación de la carretera	La carretera en estudio es concesionada y comunica a los departamentos de Cundinamarca y Meta.
Número de carriles	Dos
Funcionalidad	Carretera de primer orden
Tipo de terreno	Montañoso
Número de Calzada	Dos (2) Una calzada nueva
Velocidad de diseño	80 Km/hora
Ancho de la corona	10,6 m
Ancho de calzada	7,30 m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	2,5 m
Ancho de berma interna	1,1 m
Ancho de separador	No se identifica anchos continuos
Pendiente longitudinalanal	6%
Longitud de la curva vertical	48, 46 m
Curvas Horizontales	4 curvas
Radio de las curvas	Entre 245 y 582 m
ESPECIFICACIONES DE LOS INGRESOS Y RETORNOS	
Radio de la curva	23 m Fomeque
Velocidad de ingreso al retorno	Es de 30 km / hora CUMPLE
Ancho del carril	3,5 m
CARRILES DE DIVERGENCIA	
Ancho del carril de desaceleración	3,0 debe ser de 3,65 NO CUMPLE
Longitud de carril de desaceleración	68,40m no cumple para una velocidad de 60km/ hora debe ser de 70m mínimo.
Longitud del arril de aceleración	55,0 m debe ser 105,0 m no cumple
Peraltes en la curva 1	6%
Zonas despejadas	No cuenta, se presenta un topografía con taludes críticos y muros de contesión en concreto.
PASO A DESNIVEL	UNO Ingreso a Caqueza K34+513
Radio de curvarura	33m
Longitud del carril de desaceleración	150 m cumple
Carril de ingreso	En el punto Caqueza- Bogotá, se identifica conflicto en el ingreso para el carril del aceleración
Señilización	No se identificaron en el plano
ELEMENTOS A BORDE VÍA	
Muros en concreto	SI
Cunetas	H>15cm K34+710-K34+790, K34+820-K34+890, K35+030-K35+100,K35+180 -K35+210, K35+220

Evaluación general del tramo en diseño de acuerdo a lo obtenido en el Cuadro 26:

- El diseño geométrico cumple para las especificaciones de velocidad dadas en el diseño
 - Los retornos identificados en el tramo los radios de curvatura y anchos de carril cumplen con lo estipulado en manual de diseño
 - Los carriles de divergencia se debe verificar los anchos de carril para dar continuidad con los anchos de los carriles de la calzada, según lo estipulado en el Manual de Diseño
-
- El tramo no cuenta con zonas despejadas o zonas de servicio, de acuerdo a la guía de diseño de zonas laterales

Figura 30. Tramo en planta del PR35+300 al PR35+800

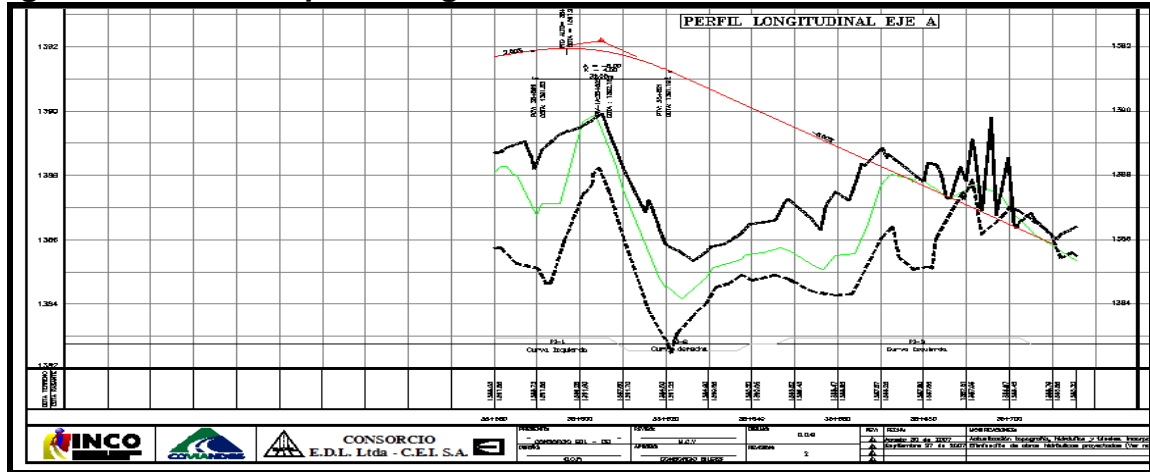


Fuente plano DG.

Según la Figura 30 se puede observar, características del diseño geométrico correspondientes al tramo de la ruta Villavicencio a Bogotá, donde se identifica un desvío a Fómeque y el de ingreso de Fómeque a Bogotá con su carril de incorporación en una curva.

En la ruta Bogotá Villavicencio se identifica una curva espiralizada para el ingreso al túnel a la Herradura. Se identifica el trazado sobre una topografía montañosa.

Figura 31. Tramo en perfil longitudinal del PR35+300 al PR35+800

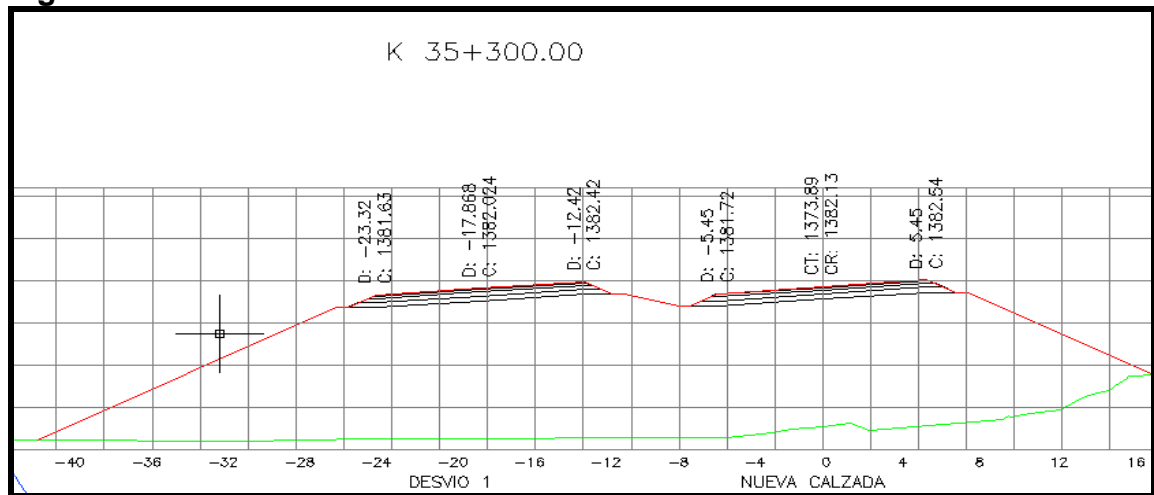


Fuente: Agencia Nacional de la Infraestructura

El perfil longitudinal del tramo según la figura 31 muestra una curva vertical cóncava con pendiente descendente del 6%, la rasante en color rojo indica el terraplén que va a tener la vía y una sección en corte.

La Figura 32 de perfil transversal según el diseño inicial en la abscisa PR35 +300 muestra la nueva calzada y el desvió 1 donde se muestra la calzada principal sobre un terraplén de 9.0m en el eje principal y corte de 5,45 m a la derecha; se igualmente se identifica la rasante la vía está trazada sobre un relleno y la zona de drenaje presenta una cuneta con diseño triangular y ausencia de zona despejada

Figura 32. Perfil transversal vía PR35+300



Fuente: Corporación Fondo de Prevención Vial.

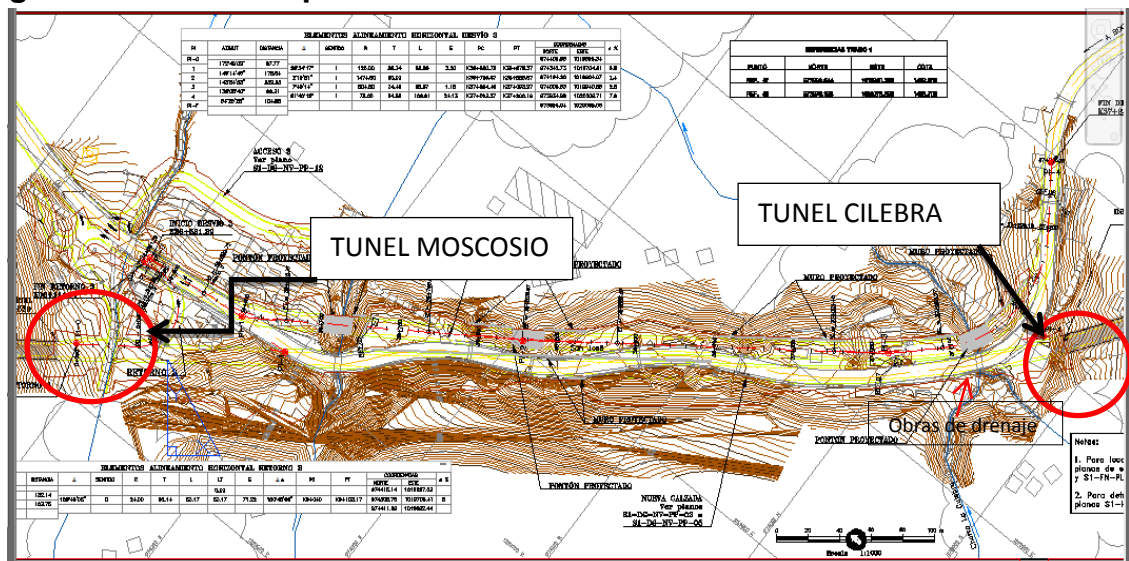
Cuadro 27. Características geométricas del diseño PR35+300 al PR35+800

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	PR35+300 al PR35+800
Dirección del tramo	Villavicencio Bogotá y Bogotá -Villavicencio
Clasificación de la carretera	La carretera en estudio es concesionada y comunica a los departamentos de Cundinamarca y Meta.
Número de carriles	Cuatro
Funcionalidad	Carretera de primer orden
Tipo de terreno	Montañoso
Número de Calzada	Dos (2) Una calzada nueva y otra se mejora
Velocidad de diseño	80 Km/hora
Ancho de la corona	10,6 m
Ancho de calzada	7,30 m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	2,5 m
Ancho de berma interna	1,1 m
Ancho de separador	No se identifica un ancho continuo
Pendiente longitudinal	6%
Ubicación de la rasante	Se ubica sobre terraplenes y pendientes del talud es de 1 : 3 Abscisas que se identificarán este tipo de terraplen son K34+520, K34+810, K35+070 – K35+160, K35+220 – K35+450,
Número de curvas	Dos curvas Horizontales una Bogotá Villavicencio y otra Villavicencio Bogotá.
Radios mínimo de curvatura de la curvas	226 m
Longitud de la curva vertical	48, 46 m
ESPECIFICACIONES DE LOS RETORNOS	
Radio de la curva	13,20 m Obliga a bajar velocidad
Velocidad de ingreso al retorno	Es de 30 km / hora No cumple por el radio donde se obliga a bajar velocidad
Ancho del carril	3,5 m
Pendiente Longitudinal	4%. Ingresando
CARRILES DE DIVERGENCIA	
Ancho del carril de desaceleración	3,0 debe ser de 3,65 NO CUMPLE
Longitud de carril de desaceleración	68,40m no cumple para una velocidad de 60km/ hora debe ser de 70m mínimo.
Longitud del carril de aceleración	55,0 m debe ser 105,0 m no cumple
Peraltes en la curva 1	4%
Zonas despejadas	No cuenta debido a la topografía
Taludes	Se presentan taludes de corte presentando problemas de visibilidad y estabilidad K35+500 K35+585 V:1, H:0.5
Cunetas	Cunetas con H>15cm K35+490-K35+603

Evaluación general del tramo en diseño de acuerdo a lo obtenido en el Cuadro 27:

- La rasante esta ubicada sobre terraplenes y pendientes de talud 1:3 siendo traspasables
- En diseño geométrico del tramo en general cumple con las especificaciones del manual de Diseño del Invias.
- La longitud de los carriles de aceleración y desaceleración se presentan en longitudes cortas no cumpliendo con lo indicado del Manual de diseño geométrico Invias
- Se deben consierar los diseños de la cunetas con criterios de seguridad y que sean traspasables.

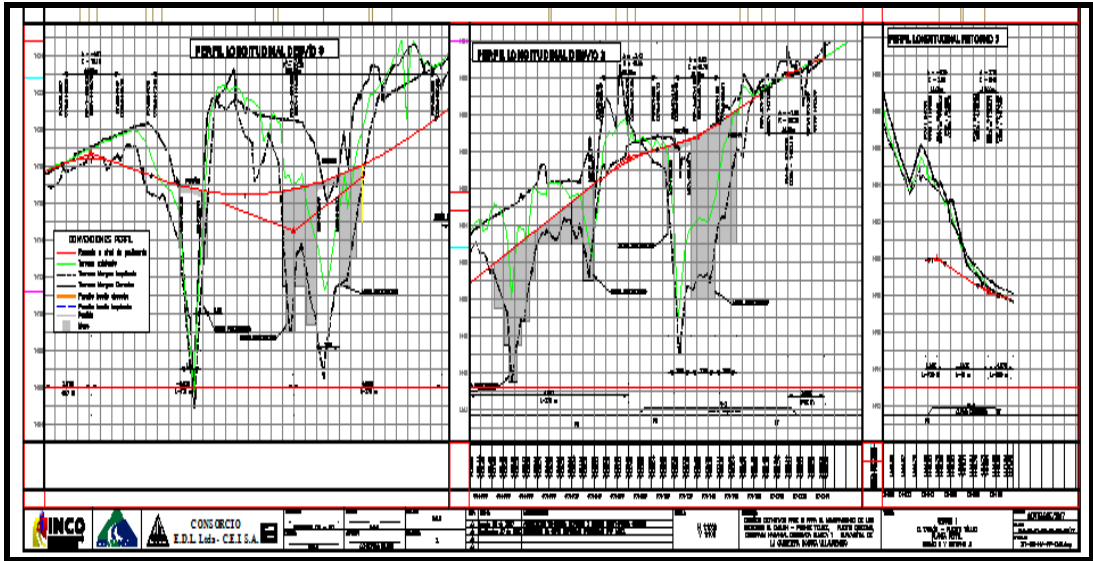
Figura 33 . Tramo en planta PR36+530 al PR37+170



Fuente Plano S1-DG-NV-PP-DV3- Agencia Nacional de Infraestructura.

El plano de la Figura 33, muestra el tramo de la vía nueva Bogotá-Villavicencio y la ruta Villavicencio – Bogotá. El diseño geométrico, muestra el trazado de la vía en diseño entre la abscisa final del túnel Moscósio k36+530 y el túnel la Culebra abscisa K37+170.

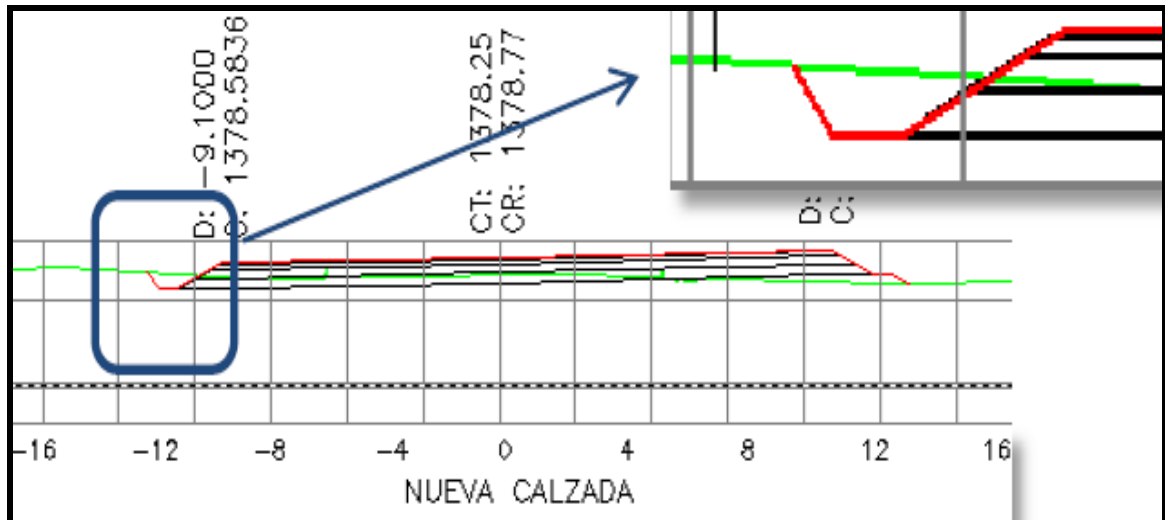
Figura 34. Perfil longitudinal desvío PR36+650 al PR37+100



Fuente Plano S1-DG-NV-PP-DV3- Agencia Nacional de Infraestructura.

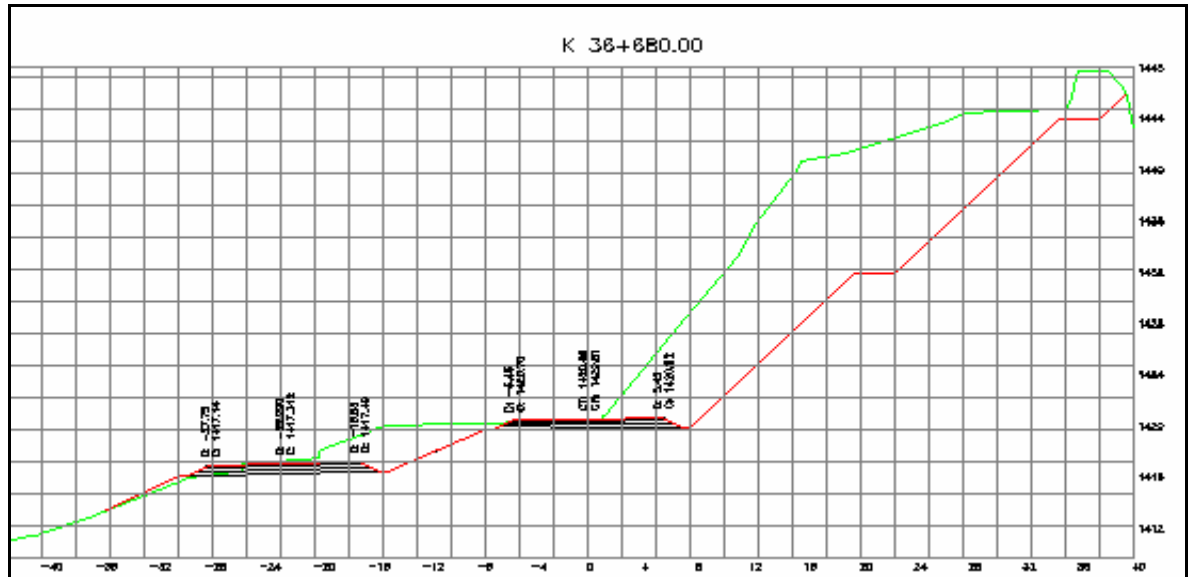
El perfil longitudinal según la Figura 34 corresponde al desvío sobre la ruta Villavicencio –Bogotá , se identifica el trazado del diseño vertical, para este se tendra en cuenta las pendientes, longitud de la curva vertical, movimientos de tierra y las obras de protección. Su análisis se describe en el Cuadro 28.

Figura 35. Perfil transversal PR37+100



Fuente . Documento de la Corporación Fondo de Prevención Vial

Figura 36. Perfil transversal del PR36+680



Fuente: plano DWG Agencia Nacional de Infraestructura

Cuadro 28. Características geométricas del diseño PR36+530 a PR45+000

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	ESPECIFICACIONES ENCONTRADAS
Tramo	K36+530 al K45+100
Dirección del tramo	Villavicencio Bogotá y Bogotá -Villavicencio
Clasificación de la carretera	La carretera en estudio es concesionada y comunica a los departamentos de Cundinamarca y Meta.
Número de carriles	Dos
Funcionalidad	Carretera de primer orden
Tipo de terreno	Montañoso
Número de Calzada	Dos (2) Una calzada nueva y otra se mejora
Velocidad de diseño	80 Km/hora
Ancho de la corona	10,6 m
Ancho de calzada	7,30 m
Ancho del carril	3,65 m
Ancho de berma	2,5 m
Ancho de berma interna	1,1 m
Ancho de separador	No se identifica
Pendiente longitudinal	6%
Radio de la curva horizontal	265 minimo
Longitud de la curva vertical	48, 46 m
Ubicación de la rasante	De acuerdo a la Fig 36 la ubicación de la rasante aparece identificada en las secciones K36+110 – K36+130, K36+680 Sector 2: K41+170 – K41+200, K41+380 - K41+393,85- k41+420,18- K41+520 – K41+622--K42+040 – K42+100- K42+177,30 – K42+180

	Sector 2A: k44+830 – k44+880- k44+940- k45+110
ESPECIFICACIONES DE LOS RETORNOS	
Número de retornos	Uno sobre la calzada nueva Puente Quetame K42+00
Radio de la curva	24 m
Peralte	8%
Velocidad de ingreso al retorno	Es de 30 km / hora
Ancho del carril	3,5 m
Longitud de transición de carril de aceleración	55,0m
Ancho del carril de aceleración	3.5m
Zonas despejadas	No se identifican
Paso a Desniviél	No se identifican
Señilización	No se identificaron en el plano
ELEMENTOS DE DRENAJE H>15cm	Hay presencia de elementos de drenaje como cunetas y cabezotes a borde de la berma. K36+530–K37+105, K37+130–K37+135, K37+160–K37+170 Sector 2: K41+170– K41+640, K41+940, K42+020-K42+220, K43+840- K43+900, K43+920-K44+030 Sector 2A: k44+450 – k44+750, k44+780 – k44+790, k44+815 – k44+850, k44+920 – k44+940
Taludes de corte	Se identifican taludes inclinados presentando problemas de visibilidad K36+555 K36+690 V:1, H:1 K36+750 K36+820 V:1, H:0.5 K36+870 K37+030 V:1, H:0.5

De acuerdo a las figuras 35 y 36 en el Cuadro 27 se realizo un análisis del tramo PR36+530 a PR45+000

- En este sector todas las curvas cumplen con la relación entre radios consecutivos.
- Las cunetas fueron diseñadas con criterio hidraulico y esto hace que no sean transpables.
- En los retornos se debe revisar el diseño para aumentar el radio de curvatura y los carriles de aceleración para hacerlo más seguros

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La carretera nacional Bogotá-Villavicencio Identificada como la ruta 40, en el tramo de estudio comprendido entre PR4+100 y PR45+00 es una vía de una sola calzada con tránsito bidireccional y con un TPD >5000, lo que aumenta el riesgo de accidente choque frontal por invasión del carril contrario.

La vía cuenta con una gran cantidad de accesos directos en los dos sentidos a negocios al borde de la carretera, viviendas e intersecciones con vías veredales, los cuales carecen de carriles de aceleración y de desaceleración, convirtiéndose en puntos potenciales de accidentalidad debido al entrecruzamiento de vehículos, falta de visibilidad, disminución de velocidad, pendientes fuertes y maniobras peligrosas que deben hacer los conductores.

La vía actual presenta inconsistencias en la cual se presentan curvas de radio pequeño localizadas a corta distancia de la finalización de curvas de radio grande. La presencia de elementos peligrosos en las zonas laterales de la vía en todo su recorrido aumenta la probabilidad de accidentes. Es recomendable que algunos de estos pueden ser removidos, otros pueden ser señalizados o protegidos con sistemas de redireccionamiento y contención técnicamente diseñados y colocados para que actúen con eficacia.

La accidentalidad desde el año 2010 al 2012 ha presentado un registro total 830 accidentes en este periodo con un promedio de 276,66 accidente por año.

El tramo crítico de accidentalidad está en el tramo comprendido entre Chipaque y Caqueza en el sentido Bogotá- Villavicencio, en el cual durante los tres años, presenta los datos de accidentalidad más altos con muertos, mostrando igualmente los mayores indicadores de accidentalidad; por lo cual se considera un tramo de alto riesgo de accidente. Esto en relación con las características de la vía concurda por ser un tramo conflictivo por pasos peatonales, problemas de señalización, accesos no señalizados y/o controlados, curvas con velocidades altas y continúan curvas con radios grandes, pendientes fuertes, poca visibilidad, tramos de radios y entre tangencias cortas, taludes y estacionamiento al lado de la vía.

Es necesario en los puntos críticos mejorar la señalización, realizar controles periódicos de velocidad, realizar el mapa de velocidades para identificar la consistencia de las señales SR-30.

La tipología del accidente de mayor incidencia es el factor humano, donde el no respetar las señales de tránsito, invasión del carril contrario y la velocidad son los que muestran más ocurrencias al transitar por esta ruta. Una causa de esto se identifica por el tipo de vía la cual por ser una vía bidireccional sin separador central y los vehículos de carga invaden el carril contrario en los puntos de curva donde no se presentan sobrecanchos.

De acuerdo a los datos analizados se presenta un porcentaje alto en accidentes en los cuales no se identifica la causa haciendo que no se pueda obtener un análisis preciso sobre estos para implementar acciones de mejora. Es necesario que las bases de datos de los registros de accidentalidad sean unificados, debido a que las entidades presentan resultados diferentes.

La geometría de la ruta en etapa de diseño en los tramos estudiados presenta riesgos de accidentalidad en cuanto a los taludes de corte empinados los cuales se deben diseñar con criterios de seguridad para que los vehículos sean encausados nuevamente en el momento de un accidente.

En el diseño se observan al lado de las bermas cunetas las cuales se deben construir con criterio de seguridad considerando la posibilidad de reemplazar las triangulares por las trapezoidales (Roadside Design Guide).

En cuanto al diseño geométrico la vía está diseñada con arreglos espiral-circular – espiral, lo que minimiza las longitudes de entre tangencia.

En los diseños transversales no se identifican zonas despejadas, ni zona de servicios para la instalación señalización, ductos y postes de SOS.

Los accesos y retornos en algunos puntos se presentan entre cruzamientos y disminución de velocidad siendo riesgos de accidentalidad.

Lo expuesto en el presente documento pone de manifiesto la importancia de evaluar la relación que tiene el diseño geométrico en la accidentalidad de una carretera considerando para los nuevos proyectos de infraestructura vial factores que minimicen el riesgo de accidente y aplicar manuales para hacer vías con infraestructura segura.

El actual estudio explica desde la ingeniería de tránsito y el diseño geométrico los estudios necesarios para determinar los puntos críticos de una vía antes de entrar en etapa de operación y así realizar los ajustes necesarios a los diseños.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, SECRETARIA DE TRANSITO, CAL y MAYOR ASOCIADOS Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Bogotá D.C.. Alcaldía Mayor de Bogotá., 2005.

----- . Manual de auditorias en seguridad vial. Bogotá: 2005 [Consultado el 11 de julio de 2013]. <Disponible en Internet: <http://transito.worldtrainingcolombia.com/pdf/MASV.pdf>

ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS. Resolución 66/260 Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo. Resolución aprobada por la Asamblea General el 19 de abril de 2012. [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: < www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/roadsafe/.../A-RES-66-260s.pdf

CAL., MAYOR, R. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. 8ª ed. Ciudad de México, México: Omega, 2007.

CÁRDENAS GRISALES James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe. 2005

----- . Conferencia diseño geométrico de vías y la seguridad vial. Mayo 6 al 11 y de Junio 17 al 22 de 2013. Cali: Universidad del Valle. Ciudad Universitaria Meléndez.

CARDOSO, João L. STEFAN, Christian, ELVIK, Rune. , SØRENSEN, Michael. Road Safety Inspections: best practice and implementation plan. . [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en Internet : <http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/ripcord_d05_road_safety_inspections.pdf

CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR DEL VALLE. Seguridad vial: accidentes y análisis [página de internet]. Colombia; 2004. [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en Internet: > www.diagnosticentrodelvalle.com.co/portal/modules.php?op=modload&name=Corporativo&file=index&id=56

CONPES 2654 de 1993 Consejo nacional de Política Económica y social
Documentos Conpes: Carretera Bogotá-Villavicencio

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social. 21 de septiembre de 2009, Programas estratégicos de Autopistas. Numeral B. p. 23

CONGRESO DE COLOMBIA. LEY 769 DE 2002 (Agosto 6). "Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones". Bogotá D.C. Diario Oficial. 44893 del 7 de agosto de 2002.

----- Ley 1450 de 2011(Junio 16). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. Bogotá D.C.: Diario Oficial. 48102 de junio 18 de 2011

----- Ley 1503 de 2011 (29 de diciembre) Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., Diario Oficial.

DOURTHÉ CASTRILLÓN, A. y SALAMANCA CANDIA, J. (Marzo de 2003). Guía Para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial. Chile.

FLÓREZ, C. F., REYES, F. A., GIRALDO, L., BERNAL, O. H., y QUINTANA, L. A. Incidencia de las características geométricas y de tránsito de vías en alta montaña y de bajas especificaciones geométricas sobre la accidentalidad "Caso Plan 2500: Departamento Del Quindío".

HOF CONSULTORES S.A.S. Guía Técnica para el diseño de las Zonas Laterales, para vías más seguras. Bogotá: Fondo de Prevención Vial, 2012

OMGETEC S.A. Carretera Bogotá – Villavicencio. . [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en: <http://www.ingetec.com.co/experiencia/textos-proyectos/vias/carretera-bogota-villavicencio.htm>

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES. Accidentes de tránsito: segunda causa de muerte violenta en el año 2012. Bogotá D.C: , 2013. [Consultado el 17 de junio de 2013]. Disponible en Internet

<http://www.medicinalegal.gov.co/index.php/component/search/accide?searchphrase=any&ordering=newest&limit=50&lang=es>

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. INVIAS. Manual De Diseño Geométrico de carreteras. Bogotá: Invías, 2008

JIMÉNEZ ALONSO, Felipe y APARICIO IZQUIERDO, Francisco ,Cálculo de la velocidad segura de circulación de los vehículos automóviles en función de la geometría de la carretera. comparación de modelos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: < <http://www.ingegraf.es/XVIII/PDF/Comunicacion17010.pdf>

KARLAFTIS, M y GOLIAS, L. Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accidents rates. En: Revista Accident Analysis and Prevention, nº 34 p. 357-365. [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: < http://users.ntua.gr/igolias/papers/paper_33.pdf

KURATORIUM FÜR VERKEHRSSICHERHEIT KFV. Mejores Prácticas de Seguridad Vial. 2007. [Consultado el 25 de junio de 2013]. Disponible en Internet: http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/supreme_c_es.pdf

MENDOZA DÍAZ Alberto, PÉREZ ABARCA Emilio, CENTENO SAAD Agustín Gerardo. Auditorías de seguridad vial de carreteras en operación RII. vol. 10, nº 2. 2009, p. 137-134 ISSN 405-7743 FI-UNAM.

MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Manual de Diseño Geométrico 2008 . [Consultado el 11 de julio de 2013]. Disponible en Internet : http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallG/home_1/recursos/informacion_institucional/20122007/documento_tecnico.jsp

----- . Manual de señalización Vial, 2004. [Consultado el 11 de julio de 2013]. Disponible en Internet : <http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallG/home_1/recursos/01_general/documentos/27102008/manual_senalizacion.pdf

MINISTERIO DEL TRANSPORTE. Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2016.. [Consultado el 15 de julio de 2013]. Disponible en Internet: <<http://www.ani.gov.co/sites/default/f...>>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Plan Mundial para el Decenio de Acción para la seguridad vial 2011-2020. [Consultado el 11 de julio de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_spanish.pdf>

PIARC. Manual de Inspección de seguridad vial en carreteras existentes.2007

ANEXOS

ANEXO A

REPORTE DE ACCIDENTALIDAD ANI-COVIANDES

ANEXO B

REPORTE DE AFOROS

ANEXO C

PLANOS DE PROYECTO DOBLE CALZADA

ANEXO D

INFORME DEL DISEÑO GEOMÉTRICO TRAMO 1 Y TRAMO. ANI