

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO  
LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA  
NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE**

**WILLIAMS GILBERTO QUIROZ BOTINA  
FRANCISCO JAVIER ESTUPIÑAN BRAVO**

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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO  
LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA  
NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE**

**WUILLIAMS GILBERTO QUIROZ BOTINA  
FRANCISCO JAVIER ESTUPIÑAN BRAVO**

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

**MSc. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO  
Director**

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

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidad del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, 23 de Mayo de 2012.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis con todo el amor, a ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una maravillosa familia que ha estado siempre a mi lado animándome a seguir adelante en todo este proceso educativo.

A mi padre, Luis Gilberto Quiroz Moran, por su apoyo incondicional, por estar conmigo por sus consejos, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí.

A mi madre, María Socorro Botina, porque ha estado siempre a mi lado en todo momento en mi formación como persona, por su amor y comprensión en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi hermana, Claudia Mile Quiroz Botina, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre para continuar y seguir mi camino, recuerda que eres muy importante para mí.

A mi esposa, Diana Carolina Pantoja Castañeda, por su amor y comprensión en esta etapa tan importante de mi vida.

Sobre todo no puedo dejar de agradecer a la alegría de mi vida, a quien más amo con todas las fuerzas de mi corazón y que con su carita de ángel me da las fuerzas y el ánimo para seguir adelante a ti, mi bebé, Tomás Alejandro Quiroz Pantoja.

WILLIAMS QUIROZ BOTINA

## **DEDICATORIA**

Señor, el camino de la vida es fácil de recorrer si sigo tus huellas, las vicisitudes desaparecen al estar en tu reposo y una sola hoja no se mueve sin tu voluntad. Por eso pongo en tus manos, humildemente este trabajo para ofrecértelo y darte las gracias, porque en tu infinita bondad has permitido que fructifique concediéndome culminar este trabajo de grado en el camino de la superación profesional. Gracias Dios por darme la oportunidad de alcanzar esta mi meta, este mi sueño.

Es de suma importancia agradecer a mis padres, Francisco Estupiñan quien promovió en mí el espíritu recto, la fe y el valor para lograr lo que me propongo; a mi madre Fanny Bravo, porque con su amor, paciencia, ternura y oraciones me enseñó a ser mejor persona y a desarrollarme como tal en el campo profesional por su apoyo incondicional he logrado alcanzar los objetivos propuestos.

Agradezco a mis demás familiares a mis amigos, a mis compañeros de estudio y a todos aquellos que de alguna manera intervinieron en este proceso y me apoyaron con una palabra cálida y amable, con un gesto de solidaridad y de ánimo en todo este proceso.

A todos y cada uno mil y mil gracias, bendiciones.

**FRANCISCO JAVIER ESTUPIÑAN BRAVO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos en todo lo que vale a las autoridades de esta Alma Mater, por brindarnos la oportunidad de incorporarnos al programa de superación académica el cual nos permitió estudiar esta carrera. Puntualizamos que generosamente además de apoyarnos nos exhortaron a superarnos día a día y en los momentos difíciles nos dieron palabras de aliento para continuar.

Agradecemos de manera especial y sincera a nuestro asesor Jorge Luis Argoty Burbano, por aceptarnos para realizar esta tesis bajo su dirección, apoyo y confianza en nuestro trabajo su capacidad para guiar las ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en la formación como investigadores. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

## **RESUMEN**

El Diseño Geométrico está conformado por todos los elementos geométricos que definen el recorrido de un automóvil al transitar por la vía, este, es de vital importancia ya que tiene influencia directa respecto a factores como: seguridad, rapidez, economía y comodidad que aseguran el éxito, funcionalidad y operatividad al transitar por la carretera.

El presente trabajo, desarrolló un análisis comparativo del Diseño Geométrico de la vía El Encano – Santiago con base en las normatividades desarrolladas por el INVIAS para tal fin, estos se efectuaron en base a aquellos parámetros más importantes y determinantes que componen el trazado y de aquellos de los que se cuenta con información suficiente para efectuar un estudio real y acorde con lo presentado en el diseño.

El estudio actual de ninguna manera se constituye en un nuevo diseño respecto al tramo de vía a analizar, este se efectuó en razón de la importancia que tiene esta vía y de la necesidad de estudiar más a fondo su composición geométrica para establecer posibles causas de problemas a nivel operativo y funcional, brindando una vía en mejores condiciones.

El presente trabajo, se desarrolló con base en el análisis de diferentes parámetros a partir del sustento teórico presentado en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV-1998 e INV-2008, en el desarrollo esquemático del trabajo se presenta un corto sustento teórico de los parámetros a analizar, seguido del procedimiento de cálculo y por último una conclusión respecto a porcentajes que no cumple de elementos analizados.

## **ABSTRACT**

The Geometric Design is conformed by all the geometric elements that define the journey from an automobile when trafficking for the road, this, it is since of vital importance he/she has direct influence regarding factors like: security, speed, economy and comfort that assure the success, functionality and operability when trafficking for the highway.

The present work develops an analysis at comparative level of the Geometric Design of the via The Encano - Santiago with base in the norms vial exists this it is made based on those more important and more decisive parameters that compose the layout and of those of those that it is had enough information to make a real study and chord with that presented in the design.

The current study in no way is constituted in a new design regarding the road tract to analyze, this it is made in reason of the importance that has this road and of the necessity of more thoroughly studying its geometric composition to establish possible causes of problems at operative and functional level, offering a road under better conditions.

The present work, is developed with base in the analysis of different parameters starting from the theoretical sustenance presented in the Manual for the Geometric Design of Highways INV-1998 and INV-2008, in the schematic development of the work you presented a short theoretical sustenance of the parameter to analyze, followed by the calculation procedure and lastly a conclusion regarding percentages doesn't complete of analyzed elements.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. MARCO TEÓRICO .....	20
1.1 DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS .....	20
1.1.1 Clasificación de las carreteras .....	21
1.2 CRITERIOS DE DISEÑO .....	22
1.3 ALINEAMIENTO HORIZONTAL .....	24
1.3.1 Alineamientos rectas y curvas .....	24
1.4 ALINEAMIENTO VERTICAL .....	26
1.5 SECCIÓN TRANSVERSAL.....	24
1.6 CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO .....	26
1.7 DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA .....	28
1.7.1 Curvas horizontales.....	29
1.7.2 Transición del peralte.....	29
1.7.3 Entretangencia horizontal.....	29
1.8 DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA .....	30
1.8.1 Tangente vertical .....	30
1.9 DISEÑO DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA .....	33
2. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	33
2.1 GENERALIDADES.....	33
2.1.1 Localización y descripción de la carretera .....	33
2.1.2 Alineamiento horizontal descripción de curvas horizontales .....	33
2.1.3 Descripción entre tangencias horizontales .....	33
2.1.4 Alineamiento vertical .....	33
2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998 – CARRETERA SECUNDARIA.....	37
2.2.1 Controles para el diseño geométrico.....	33
2.2.2 Diseño en planta del eje de la carretera.....	33
2.2.3 Diseño vertical .....	53
2.2.4 Sección transversal.....	53
2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008 – CARRETERA SECUNDARIA .....	53
2.3.1 Controles para el diseño geométrico.....	53

2.3.2	Diseño en planta del eje de la carretera .....	54
2.3.3	Diseño vertical pendiente mínima.....	55
2.3.4	Pendiente máxima .....	55
2.3.5	Sección transversal.....	56
2.4	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998 – CARRETERA PRINCIPAL DE UNA CALZADA.....	60
2.4.1	Controles para el diseño geométrico.....	60
2.4.2	Diseño en planta del eje de la carretera.....	62
2.4.3	Diseño vertical .....	63
2.4.5	Sección transversal.....	65
2.5	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008 – CARRETERA PRINCIPAL DE UNA CALZADA .....	65
2.5.1	Controles para el diseño geométrico .....	33
2.5.2	Diseño en planta del eje de la carretera.....	68
2.5.3	Diseño vertical pendiente.....	72
2.5.4	Sección transversal ancho de zona .....	74
3	CONCLUSIONES .....	75
4	RECOMENDACIONES.....	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1	Descripción de tramos .....	33
Tabla 2-2.	Descripción curvas horizontales PR 23 + 246.92 a PR 32 + 577.92 ..	34
Tabla 2-3.	Descripción curvas horizontales PR 36 + 469.87 a PR 40 + 477.07 ..	34
Tabla 2-4.	Descripción curvas horizontales PR 40 + 654.38 a PR 51 + 038.52 ..	34
Tabla 2-5.	Descripción entretangencias horizontales PR23+246 a PR32+577 ...	34
Tabla 2-6.	Descripción entretangencias horizontales PR36+469 a PR40+477 ...	35
Tabla 2-7.	Descripción entretangencias horizontales PR40+654 a PR51+038 ...	35
Tabla 2-8.	Descripción curvas verticales PR 23 + 246.92 a PR 32 + 577.92.....	35
Tabla 2-9.	Descripción curvas verticales PR36+461.28 a PR40+467.72.....	35
Tabla 2-10.	Descripción curvas verticales PR 40 + 507.91 a PR 51 + 058.53.....	36
Tabla 2-11.	Descripción entretangencias verticales PR 23 + 246 a PR 32 + 577..	36
Tabla 2-12.	Descripción entretangencias verticales PR36+461 a PR40+467.....	36
Tabla 2-13.	Descripción entretangencias verticales PR 40 + 507 a PR 51 + 058..	37
Tabla 2-14.	Resumen de curvas horizontales y curvas verticales .....	37
Tabla 2-15.	Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.....	38
Tabla 2-16.	Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos.....	39
Tabla 2-17.	Ejemplos de chequeo de la DVP en curvas verticales convexas.....	40
Tabla 2-18.	Cálculo distancia de visibilidad de adelantamiento $D_a$ .....	41
Tabla 2-19.	Distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente 0%.....	42
Tabla 2-20.	Chequeo de la DVP en curvas horizontales .....	42
Tabla 2-21.	Parámetros curvas horizontales en función de velocidad específica ..	44
Tabla 2-22.	Chequeo del radio mínimo absoluto en curvas horizontales.....	44
Tabla 2-23.	Chequeo del sobreechanco en curvas horizontales .....	45
Tabla 2-24.	Análisis de la flecha M en curvas horizontales .....	46
Tabla 2-25.	Chequeo de la longitud en curvas horizontales .....	46
Tabla 2-26.	Chequeo longitud circular mínima curvas con empalme E-C-E .....	47
Tabla 2-27.	Chequeo longitud espiral Lemín y Lemáx.....	47
Tabla 2-28.	Chequeo peralte curvas horizontales.....	49
Tabla 2-29.	Chequeo Longitud de transición curvas circulares .....	50
Tabla 2-30.	Chequeo Longitud de transición curvas espirales .....	51
Tabla 2-31.	Chequeo Rampa de Peralte curvas circulares.....	51
Tabla 2-32.	Chequeo Rampa de peralte curvas espirales .....	52
Tabla 2-33.	Chequeo entretangencias horizontales.....	52
Tabla 2-34.	Relación pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica (VTV) .....	55
Tabla 2-35.	Análisis Pendiente máxima y mínima VTR=30 Km/h.....	56

Tabla 2-36. Análisis pendiente máxima y mínima VTR=30 Km/h .....	56
Tabla 2-37. Ancho de calzada (metros) .....	58
Tabla 2-38. Bombeo de la calzada .....	58
Tabla 2-39. Ancho de bermas.....	59
Tabla 2-40. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.....	61
Tabla 2-41. Parámetros curvas horizontales en función de velocidad específica ..	62
Tabla 2-42. Chequeo del radio mínimo absoluto en curvas horizontales.....	62
Tabla 2-43. Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño.....	63
Tabla 2-44. Análisis de pendientes mínimas y máximas .....	64
Tabla 2-45. Análisis de longitud mínima de curvas verticales.....	64
Tabla 2-46. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos .....	66
Tabla 2-47. Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento .....	67
Tabla 2-48. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 8\%$ y fricción máxima	69
Tabla 2-49. Análisis radios mínimos para VTR de 60 km/h .....	69
Tabla 2-50. Análisis de longitud mínima y máxima de espirales VTR = 60Km/h ...	70
Tabla 2-51. Análisis sobrecarga vehículos articulados para un VTR = 30Km/h....	70
Tabla 2-52. Análisis peralte máximo para VTR=60 km/h.....	71
Tabla 5-53. Análisis entretangencia horizontal máxima y mínima VTR=60 km/h ..	72
Tabla 2-54. Relación pendiente máxima (%) y la velocidad específica (VTV) .....	72
Tabla 2-55. Análisis longitud Crítica VTR = 60 km/h.....	74
Tabla 2-56. Bombeo de la calzada .....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección transversal típica. ....	25
Figura 2. Curvas verticales convexas que no cumplen con la DVP .....	40
Figura 3. Sección transversal típica para carretera principal de dos calzadas .....	60

## INTRODUCCIÓN

Las vías de comunicación determinan, en gran medida, el desarrollo de las regiones; una malla vial en mal estado genera atraso, marginando a las poblaciones y limitando condiciones en la calidad de vida, por lo tanto, el progreso es directamente proporcional a este aspecto mejorando las situaciones: laboral, comercial y económica principalmente. Una de las zonas que más ha sentido esta problemática es el departamento del Putumayo, el cual no cuenta con una infraestructura vial adecuada, y por ende se ha dificultado el intercambio comercial con sus departamentos vecinos.

En el diseño y construcción de una carretera, el diseño geométrico es parte fundamental y de gran importancia, teniendo en cuenta que existe un conjunto de normas vigentes que brindan las herramientas necesarias para realizar un buen diseño, o el análisis de un existente, para lograr corroborar si este es óptimo; el objetivo de una carretera es el de satisfacer la demanda de transporte y así garantizar al usuario seguridad, comodidad, economía y eficiencia.

Por lo anterior, en el presente trabajo de Investigación Aplicada, se realizó un análisis comparativo del diseño geométrico del **“TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO”** referenciada a los **Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008** emanadas por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS, se estudiaron los controles para el diseño geométrico, como: velocidad de diseño, distancias de visibilidad, diseño en planta y perfil, diseño de sección transversal de la carretera en conjunto con los componentes que la conforman.

Al finalizar el presente estudio, se determinó las inconsistencias referenciadas a la normatividad vigente del Diseño Geométrico de Carreteras, se realizó las recomendaciones y sugerencias finales, en los sectores que lo requieran y en puntos críticos que el tramo posee.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

### TÍTULO

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE”

### ALCANCE Y DELIMITACIÓN

En este trabajo de grado para lograr obtener el título de ingenieros civiles, en la modalidad de investigación, denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE", se estudió y analizó únicamente lo concerniente al diseño geométrico y no se tuvo en cuenta el corredor de ruta donde se encuentra el trazado respectivo, ya que no se tiene información disponible en la parte geotécnica y taludes.

Mediante el estudio y análisis del trazado geométrico existente, se verificó que los elementos que integran el diseño geométrico cumplan con los requisitos máximos y mínimos planteados por el instituto nacional de vías INVIAS en sus **Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008**. Para los sectores que no cumplan con la normatividad vigente se propuso sugerencias y recomendaciones como alternativas de solución.

Este trabajo de grado se limitó a realizar el estudio y análisis a los siguientes parámetros que componen el diseño geométrico:

#### **Controles para el diseño geométrico**

Velocidad de Diseño

Distancias de Visibilidad

#### **Diseño en planta del eje de la carretera**

Curvas horizontales

Transición del peralte

Curvas circulares

Entretangencia horizontal

Relación entre los radios de curvas horizontales contiguas.

## **Diseño en perfil del eje de la carretera**

Tangente vertical

Curvas verticales

## **Diseño de la sección transversal de la carretera**

Ancho de zona o derecho de vía

Corona (calzada y berma)

Sobreechancho en las curvas

Valor de la flecha (m) para proveer la distancia de visibilidad de parada en curva

Este proyecto no comprenderá:

*Verificar el ángulo de inclinación y/o la estabilidad de taludes.*

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

## **MODALIDAD**

Investigación aplicada.

## **LINEA DE INVESTIGACIÓN**

Infraestructura vial y transporte.

## **PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El proyecto “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE” referenciada a la normatividad vigente es de gran importancia y hace parte quizá, de una de las labores más indispensables de realizar en la carretera que comunica el Departamento de Nariño con el Departamento del Putumayo, teniendo en cuenta que esta vía padece de multitud de deficiencias y por ende requiere el estudio y análisis comparativo del diseño geométrico referenciado a los **Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras de los años 1998 y 2008** con el fin de

identificar el cumplimiento de las exigencias mínimas, las cuales brindan completa seguridad de que el proyecto es el correcto.

Teniendo en cuenta que el diseño actual no cumple en su gran mayoría con los respectivos requerimientos mínimos que el **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del año 2008** exige para poder brindar seguridad, comodidad, economía y eficiencia al usuario. El trayecto al que se desea realizar el análisis comparativo está influenciado por factores como topografía, hidrología, geología, entre otros; que hacen del diseño geométrico sea de mayor complejidad y de mayor exigencia. Se requiere el estudio detallado de todos y cada uno de los elementos que conforman el diseño geométrico, de tal manera que cumplan con la normatividad vigente con la finalidad de brindar bienestar al usuario.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Establecer un estudio Geométrico a través de “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, CON LA NORMATIVIDAD VIAL EXISTENTE” para las normas emanadas por el INVIAS en los años 1998 y 2008.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar el diseño geométrico horizontal existente del TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO de acuerdo a la normatividad de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS de los años 1998 y 2008.
- Verificar el diseño geométrico vertical existente del TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO de acuerdo a la normatividad de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS de los años 1998 y 2008.
- Verificar el diseño de la sección transversal existente del TRAMO LOCALIZADO ENTRE EL SECTOR LA PISCICULTURA DEPARTAMENTO DE NARIÑO HASTA SANTIAGO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO de acuerdo a la normatividad de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS de los años 1998 y 2008.

- Establecer consideraciones en los sectores de mayor influencia o deficiencia en el proyecto, implementando soluciones factibles en el diseño geométrico existente.
- Efectuar comparación respecto a resultados obtenidos, fruto del estudio de cada uno de los aspectos del diseño geométrico de carreteras con base en la normatividad expedida por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS de los años 1998 y 2008.
- Establecer conclusiones y recomendaciones propias del diseño con base en los resultados obtenidos en cada una de las etapas de estudio.

## **JUSTIFICACIÓN**

El aislamiento interregional entre los departamentos de la frontera sur colombiana de Nariño, Putumayo y Amazonas, y de éstos con el resto del país, ligado a las limitadas posibilidades de desarrollar alternativas productivas rentables, la débil presencia institucional y el bajo nivel de competitividad del sector primario, han contribuido a convertir esta región en un escenario donde proliferan las actividades ilícitas, con altos índices de violencia en sus diferentes manifestaciones.

Paradójicamente, esta misma región tiene una envidiable posición geoestratégica por su vecindad con Ecuador, Perú y Brasil y por ser parte integral de las cuencas Pacífica y Amazónica, cuya integración es fundamental. La necesidad de comunicarse desde el departamento de Nariño al departamento del Putumayo, obligan a generar un estudio objetivo y completo sobre la estructura vial existente, que conlleve a una modernización de esta para la mejora en los tiempos de recorrido, mayor seguridad, economía y comodidad en la marcha.

Desde el punto de vista geométrico es necesario generar un diseño con condiciones óptimas, especialmente en cuanto se refiere a tiempos de recorrido que gastaría el usuario, al desplazarse desde un departamento al otro dentro de los parámetros geométricos que presente la vía, como lo es el caso de las curvas con radio de giro muy pequeñas y entretangencias muy cortas o nulas con respecto a otra curva. Mejorando las condiciones en los tiempos de recorrido y comodidad, lo cual se reflejaría en una menor accidentabilidad y mayor economía.

El problema que se está planteando hoy en día en las carreteras de primer orden es el tránsito rápido, con superficies y curvas adecuadas, separación de direcciones de tránsito y cruces a distinto nivel, como alternativas para lograr la rapidez deseada, lo que genera estudios exhaustivos para un buen diseño geométrico, más aún cuando de esto depende el crecimiento en cuanto a población y aspectos generales del desarrollo entre departamentos hermanos, que muestran su avance progresivo para convertirse en centros poblacionales importantes, aún más que el que representan hoy en día.

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

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

Se debe lograr un diseño geométrico consistente, que contribuya a reducir las violaciones de las expectativas del conductor, de tal manera que éste aprecie homogeneidad en el trazado y sus diferentes componentes. Esto hace referencia a una adecuada coordinación por parte del diseñador del alineamiento en planta y el alineamiento en perfil. Los criterios que priman en el diseño de una carretera, son: seguridad, comodidad, eficiencia y funcionalidad. Como criterios secundarios, pero no de menor importancia, están: el entorno, economía, estética y ajustabilidad.

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

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

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

---

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

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

**1.1.1 Clasificación de las carreteras.** Según el INVIAS en su **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 1998**, éstas se clasifican *por su competencia, según sus características, según el tipo de terreno, según velocidad de diseño y según su función*; mientras que para la normatividad vigente únicamente interesa la clasificación *según su funcionalidad y el tipo de terreno*.

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

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

A continuación, se presentan conceptos del **Manual de Diseño Geométrico 1998**.

## **1.2 CRITERIOS DE DISEÑO**

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

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

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

La distancia de visibilidad deberá ser de suficiente longitud, tal que le permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo puede ser por la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril de circulación, o el adelantamiento de un vehículo lento en carreteras de dos carriles dos sentidos, o la del cruce con una vía secundaria, o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras terciarias de calzadas angostas.

Por lo anterior, para el proyecto de carreteras, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad: *distancia de visibilidad de parada, distancia de*

---

<sup>3</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 4 - 6

<sup>4</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.39

*visibilidad de adelantamiento, distancia de visibilidad de cruce y distancia de visibilidad de encuentro*<sup>5</sup>.

### **1.3 ALINEAMIENTO HORIZONTAL**

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

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

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

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

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

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

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

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

---

<sup>5</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.49

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

**Peralte.** El peralte es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que transita por un alineamiento en curva. Dicha acción está contrarrestada también por el rozamiento entre ruedas y pavimento.”<sup>6</sup>.

**Curvas de transición.** “En un diseño donde se utilizan elementos geométricos rígidos como la línea recta y los arcos circulares, cualquier móvil que entre en una curva horizontal o salga de la misma, experimenta un cambio brusco debido al incremento o disminución de la fuerza centrífuga, que se efectúa en forma instantánea, lo que produce incomodidad en el usuario. El conductor sigue generalmente un camino conveniente de transición, lo que puede originar la ocupación de una parte del carril adyacente, cuando se inicia el recorrido de la curva, lo que representa un peligro si el carril aledaño es para tránsito de sentido contrario. Salvo cuando se tienen curvas de radios grandes, donde también se pueden usar pero no es estrictamente necesario, lo indicado es emplear las curvas de transición”<sup>7</sup>.

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

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

- Una curva espiral diseñada apropiadamente proporciona una trayectoria natural y fácil de seguir por los conductores, de tal manera que la fuerza centrífuga crece o decrece gradualmente, a medida que el vehículo entra o sale de una curva horizontal.

- La longitud de la espiral se emplea para realizar la transición del peralte y la del sobreebanco entre la sección transversal en línea recta y la sección transversal completamente peraltada y con sobreebanco de la curva.

---

<sup>6</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.62- 65

<sup>7</sup> Ibid., p. 78

- El desarrollo del peralte se hace en forma progresiva, con lo que se consigue que la pendiente transversal de la calzada sea, en cada punto, la que corresponde al respectivo radio de curvatura.

- La flexibilidad de la clotoide y las muchas combinaciones del radio con la longitud, permiten la adaptación a la topografía, y en la mayoría de los casos la disminución del movimiento de tierras, para obtener trazados más económicos.

Con el empleo de las espirales en autopistas y carreteras, se mejora considerablemente la apariencia en relación con curvas circulares únicamente. En efecto, mediante la aplicación de espirales se suprimen las discontinuidades notorias al comienzo y al final de la curva circular (téngase en cuenta que sólo se utiliza la parte inicial de la espiral), la cual se distorsiona por el desarrollo del peralte, lo que es de gran ventaja también en el mejoramiento de carreteras existentes.”<sup>8</sup>

#### 1.4 ALINEAMIENTO VERTICAL

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

Es determinante en el alineamiento vertical el relieve del terreno, con el objeto de no encarecer los costos de construcción y operación.”<sup>9</sup>

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

“Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas”<sup>10</sup>

#### 1.5 SECCIÓN TRANSVERSAL

“La sección transversal de una carretera en un punto de ésta es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y

<sup>8</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.79 - 80

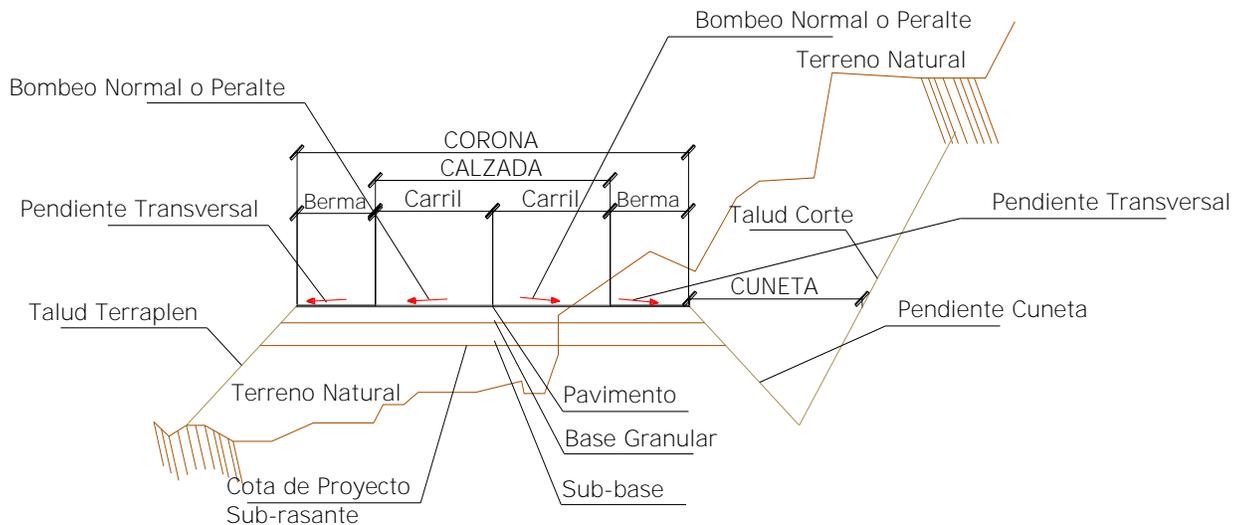
<sup>9</sup> Ibid., p. 107

<sup>10</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998,p.112

dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.”<sup>11</sup>

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

**Figura 1. Sección transversal típica.**<sup>12</sup>



### “Criterios de diseño general

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

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

\* La curvatura horizontal y la pendiente longitudinal del proyecto debe mantener un balance apropiado, sin sacrificar las condiciones de una en busca de mejores características de la otra, para lograr un diseño equilibrado, que es aquel en el cual ambos alineamientos están estrechamente vinculados, ofreciendo el máximo de seguridad y capacidad, además de una operación fácil, cómoda, uniforme y segura.

<sup>11</sup> Ibid., p. 124

<sup>12</sup> Ibid., p. 124

\* De una curva vertical que coincida con una curva horizontal generalmente resulta una carretera agradable, siempre y cuando la curva horizontal no sea de radio mínimo o próximo al mínimo, coincidiendo con una curva vertical de longitud mínima, pues esta circunstancia presenta inconvenientes, especialmente cuando se transita en las horas de la noche. En efecto, las luces de los vehículos se pierden en el espacio, generando pésimas condiciones ópticas para los conductores.”<sup>13</sup>

A continuación, se presenta una literatura relacionada con los anteriores temas, pero citada del **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras vigente**.

## 1.6 CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO

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

El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de ruta tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada velocidad de diseño del tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ), es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

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

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

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

---

<sup>13</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998,p.147

La velocidad de diseño de un tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.”<sup>14</sup>

### **Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil**

“La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su velocidad específica y es con la que se debe diseñar ese elemento.

El valor de la velocidad específica de un elemento geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

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

Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la velocidad específica de curvas y entretangencias, lo que necesariamente se traduce en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las velocidades específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo ( $V_{TR}$ ) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora ( $V_{TR} + 20 \text{ km/h}$ ).”<sup>15</sup>

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

**Vehículo de diseño:** se define como significativo de flujo vehicular que pueda transitar por dicha carretera. Para el medio colombiano, se tiene vehículos *livianos* y *pesados* con menos de 5 Ton de capacidad y con más de 5 Ton de capacidad respectivamente.

“La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada,

---

<sup>14</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 37

<sup>15</sup> *Ibid.*, p. 39

bermas y sobreechornos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).<sup>16</sup>

**Distancias de visibilidad.** “Una de las características más importantes que debe ofrecer el trazado de una carretera al conductor de un vehículo es la posibilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente”.<sup>17</sup>

En el diseño geométrico de carreteras, se tiene en cuenta: *distancia de visibilidad de parada ( $D_P$ )*, *distancia de visibilidad de adelantamiento ( $D_a$ )* y *distancia de visibilidad de cruce ( $D_C$ )*

## 1.7 DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA

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

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

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

Durante el diseño de una carretera nueva se deben evitar tramos en planta con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, especialmente en zonas donde la temperatura es relativamente alta, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto.”<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 50

<sup>17</sup> *Ibid.*, p. 51

<sup>18</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 73

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

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

**Relación entre la velocidad específica de la curva horizontal ( $V_{CH}$ ), el radio de curvatura ( $R_C$ ) y el peralte ( $e$ )**

**“Ecuación de equilibrio.** Esta ecuación permite definir la relación entre el radio ( $R_C$ ) de la curva horizontal, la velocidad específica ( $V_{CH}$ ), el peralte ( $e$ ) y la fricción transversal ( $f_T$ ), con la cual se tiene el equilibrio de las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva. La ecuación de la curva es la siguiente: ”<sup>19</sup>

**1.7.2 Transición del peralte.** “Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva. La longitud de transición está constituida por dos tramos principales: 1) la distancia ( $N$ ) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamado planamiento y 2) la distancia ( $L$ ) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular.”<sup>20</sup>

### **1.7.3 Entretangencia horizontal**

#### **Entretangencia mínima**

##### **- Para curvas de distinto Sentido**

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

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

---

<sup>19</sup> *Ibid.*, p. 102

<sup>20</sup> *Ibid.*, p. 108

### **Para curvas del mismo sentido**

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

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

### **Entretangencia máxima**

Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la distancia de visibilidad de adelantamiento ( $D_a$ ), pero en el caso que se excedan estas distancias por razones propias del diseño es necesario procurar que la longitud máxima de recta no sea superior a quince (15) veces la velocidad específica de la entretangencia horizontal ( $V_{ETH}$ ) expresada en kilómetros por hora (km/h). Este criterio se aplica de igual forma para curvas de igual sentido como para curvas de diferente sentido.”<sup>21</sup>

## **1.8 DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA**

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

Lo ideal es la obtención de rasantes largas con un ajuste óptimo de curvas verticales y curvas horizontales a las condiciones del tránsito y a las características del terreno, generando un proyecto lo más económico posible tanto en su operación como para su construcción.”<sup>22</sup>

### **1.8.1 Tangente vertical**

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

<sup>21</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 119

<sup>22</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p 127

**Pendiente máxima.** La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia del tipo de vía que se desea diseñar. Para vías primarias las pendientes máximas se establecen considerando velocidades altas, entre sesenta y ciento treinta kilómetros por hora (60 - 130 km/h). En las vías terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre veinte y sesenta kilómetros por hora (20 - 60 km/h), en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.<sup>23</sup>

## 1.9 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

Los elementos que hacen parte de la sección transversal de la carretera son:

**Ancho de zona o derecho de vía.** Es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones, si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. A esta zona no se le puede dar uso privado.

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

- **Calzada.** La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas. La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada se debe ejecutar de conformidad con las disposiciones del “Manual de dispositivos para la regulación del tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.

**Bermas.** La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores.

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

**Sobrecorrimiento en las curvas.** En curvas de radio reducido, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera, se debe ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados entre

---

<sup>23</sup> Ibíd., p. 127

los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la calzada.”<sup>24</sup>

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

Para evitar esta restricción, debe existir una distancia mínima entre el eje del carril interior, que se toma como trayectoria del vehículo, y el obstáculo lateral.

En consecuencia, en el interior de una curva horizontal se debe despejar de obstáculos una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos, cuya distancia es igual a la visibilidad deseada”<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008

<sup>25</sup> *Ibíd.*, p. 161

## 2 DESARROLLO DEL TRABAJO

### 2.1 GENERALIDADES

El sector en cuestión tiene una longitud aproximada de 28 km. En la carretera Pasto – Mocoa sector El Encano-Santiago, sectores PR 23 + 246.92 y PR 51 + 106.06, Ruta 1003. En cuanto a las condiciones iniciales del corredor a intervenir se destacan los siguientes aspectos: Los primeros 1.190 metros se encuentran en pavimento flexible los cuales se les ha efectuado actividades de mejoramiento mediante bacheo, refuerzo o construcción de una nueva estructura de pavimento, a partir del corregimiento El Encano en adelante, PR 24 + 100 aproximadamente, se presentan radios de curvatura inferiores a 12 m y ancho promedio de calzada 5.5 m sobre topografía abrupta. Pendientes entre 7.0% y 11.0%. La zona alta se localiza en el Páramo de Bordoncillo, a 3.150 m.s.n.m., entre PR 30 a PR 34 aprox. Presenta alineamientos de radios amplios. Pendientes hasta del 16%.

El Encano se encuentra ubicado a 23 kilómetros del municipio de Pasto, a una altura de 2.875 m.s.n.m., con una temperatura de 8 a 12 grados centígrados y una humedad relativa del 87%, con pluviosidad de 1.348 mm anuales donde se encuentra la Cocha, el lago alto andino mejor conservado de Colombia.

**2.1.1 Localización y descripción de la carretera.** EL tramo de carretera para el presente estudio, inicia en el Sector la Piscicultura del departamento de Nariño (Abscisa PR 23 + 246.92) y finaliza en el municipio de Santiago del departamento del Putumayo (Abscisa PR 51 + 106.06).

Desde la abscisa PR 32 + 577.92 a la abscisa PR 36 + 469.87, no se efectúa estudio a razón de la no culminación del diseño definitiva en el instante de desarrollo del presente trabajo de grado por motivo de falta de licencia ambiental de la zona al considerarse zona de reserva natural, por lo cual éste tramo no se analizará para efectos del presente estudio. (Ver tabla 2-1)

Tabla 2-1 Descripción de Tramos

Tramo	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Distancia
1	PR 23 + 246.92	PR 32 + 577.92	9331,00
3	PR 36 + 469.87	PR 40 + 477.07	4007,20
4	PR 40 + 477.07	PR 51 + 038.52	10561,45

**2.1.2 Alineamiento horizontal descripción curvas horizontales.** El diseño geométrico de la carretera Pasto-Mocoa sector El Encano – Santiago está constituido en su mayoría por curvas con acuerdo de tipo circular simple y en una mínima cantidad son de tipo espiralizadas.

En seguida se presenta la descripción de cada curva horizontal, indicando las abscisas de inicio y terminación, al igual que el tipo de empalme correspondiente para el tramo de carretera en estudio. (Ver tabla 2-2).

Tabla 2-2. Descripción curvas horizontales PR 23 + 246.92 a PR 32 + 577.92

Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa PC	Abscisa PT	Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa PC	Abscisa PT
1	6	Circular	PR 23 + 246.92	PR 23 + 320.52	33	26	Circular	PR 24 + 860.08	PR 24 + 894.74
2	5	Circular	PR 23 + 338.18	PR 23 + 400.59	34	27	Circular	PR 24 + 895.50	PR 24 + 922.47
3	4	Circular	PR 23 + 418.84	PR 23+ 455.36	35	28	Circular	PR 24 + 939.80	PR 24 + 958.15

La información completa de esta tabla se encuentra en anexos.

Tabla 2-2. Descripción curvas horizontales PR 36 + 469.87 a PR 40 + 477.07

Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	2	Circular	PR 36 + 469.87	PR 36 + 502.95	32	33	Circular	PR 38 + 570.34	PR 38 + 596.49
2	3	Circular	PR 36 + 511.90	PR 36 + 549.90	33	34	Circular	PR 38 + 597.70	PR 38 + 619.28
3	4	Circular	PR 36 + 572.09	PR 36 + 617.02	34	35	Circular	PR 38 + 629.32	PR 38 + 651.52
4	5	Circular	PR 36 + 622.41	PR 36 + 665.31	35	36	Circular	PR 38 + 666.01	PR 38 + 689.49

Tabla 2-3. Descripción curvas horizontales PR 40 + 654.38 a PR 51 + 038.52

Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET	Curva No.	PI No.	Tipo de empalme	Abscisa TE	Abscisa ET
1	129	Circular	PR 40 + 654.38	PR 40 + 664.39	44	172	Circular	PR 42 + 669.63	PR 42 + 682.67
2	130	Circular	PR 40 + 686.70	PR 40 + 714.35	45	173	Circular	PR 42 + 701.62	PR 42 + 721.94
3	131	Circular	PR 40 + 736.07	PR 40 + 781.53	46	174	Circular	PR 42 + 729.78	PR 42 + 754.88

La numeración de los PI's anteriormente descrita no tiene un orden consecutivo debido a que así está registrado en los planos a causa de diversas modificaciones en su diseño.

El tramo de carretera a ser analizado cuenta con un total de 505 curvas horizontales, de las cuales 6 presentan empalme tipo de espiral y las restantes son de tipo circular.

### 2.1.3 Descripción entre tangencias horizontales

En seguida se indica las entretangencias horizontales con su respectiva abscisa de inicio y fin, y su longitud. (Ver tablas 2-5, 2-6 y 2-7)

Tabla 2-4. Descripción entretangencias horizontales PR23+246.92 a PR32+577.92

Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin
1	17.66	PR 23 + 320.52	PR 23 + 338.18	55	7.88	PR 25 + 624.59	PR 25 + 632.47
2	18.25	PR 23 + 400.59	PR 23 + 418.84	56	0.01	PR 25 + 661.89	PR 25 + 661.90
3	27.79	PR 23+ 455.36	PR 23 + 483.15	57	4.65	PR 25 + 681.37	PR 25 + 686.02
4	36.4	PR 23 + 520.04	PR 23 + 556.44	58	18.48	PR 25 + 705.33	PR 25 + 723.81
5	108.87	PR 23 + 615.80	PR 23 + 724.67	59	30.01	PR 25 + 742.08	PR 25 + 772.09

Tabla 2-5. Descripción entretangencias horizontales PR36+469.87 a PR40+477.07

Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin
1	8.95	PR 36 + 502.95	PR 36 + 511.90	32	1.21	PR 38 + 596.49	PR 38 + 597.70
2	22.19	PR 36 + 549.90	PR 36 + 572.09	33	10.04	PR 38 + 619.28	PR 38 + 629.32
3	5.39	PR 36 + 617.02	PR 36 + 622.41	34	14.49	PR 38 + 651.52	PR 38 + 666.01
4	11.09	PR 36 + 665.31	PR 36 + 676.40	35	15.39	PR 38 + 689.49	PR 38 + 704.88
5	1.36	PR 36 + 721.94	PR 36 + 723.30	36	11.41	PR 38 + 743.27	PR 38 + 754.68

Tabla 2-6. Descripción entretangencias horizontales PR40+654.38 a PR51+038.52

Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Entretangencia No.	Longitud (m)	Abscisa Inicio	Abscisa Fin
1	22.31	PR 40 + 664.39	PR 40 + 686.70	54	41.83	PR 43 + 057.78	PR 43 + 099.61
2	21.72	PR 40 + 714.35	PR 40 + 736.07	55	23.42	PR 43 + 165.47	PR 43 + 188.89
3	25.24	PR 40 + 781.53	PR 40 + 806.77	56	40.04	PR 43 + 192.15	PR 43 + 232.19
4	68.47	PR 40 + 819.23	PR 40 + 887.70	57	20.49	PR 43 + 237.61	PR 43 + 258.10
5	12.85	PR 40 + 927.96	PR 40 + 940.81	58	43.96	PR 43 + 270.92	PR 43 + 314.88

**2.1.4 Alineamiento vertical.** Descripción curvas verticales. En seguida se describe las curvas verticales, para lo cual se especifica las abscisas de inicio y terminación, al igual que su forma de inflexión y longitud, para la carretera en estudio: (Ver tablas 2-8, 2-9, 2-10)

Tabla 2-7. Descripción curvas verticales PR 23 + 246.92 a PR 32 + 577.92

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Concava	40.00	PR23+042.03	PR23+082.03	31	Concava	20.00	PR24+549.47	PR24+569.47
2	Concava	20.00	PR23+096.64	PR23+116.64	32	Convexa	40.00	PR24+634.65	PR24+674.65
3	Convexa	20.00	PR23+119.84	PR23+139.84	33	Concava	40.00	PR24+695.61	PR24+735.61
4	Convexa	40.00	PR23+160.11	PR23+200.11	34	Convexa	40.00	PR24+751.85	PR24+791.85
5	Convexa	20.00	PR23+218.50	PR23+238.50	35	Concava	40.00	PR24+809.47	PR24+849.47

Tabla 2-8. Descripción curvas verticales PR36+461.28 a PR40+467.72

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Convexa	30.00	PR36+461.28	PR36+491.28	33	Concava	30.00	PR38+742.12	PR38+772.12
2	Concava	30.00	PR36+529.30	PR36+559.30	34	Convexa	30.00	PR38+854.45	PR38+884.45
3	Convexa	30.00	PR36+566.14	PR36+596.14	35	Concava	30.00	PR38+911.53	PR38+941.53
4	Convexa	30.00	PR36+647.32	PR36+677.32	36	Concava	30.00	PR38+992.92	PR39+022.92
5	Concava	30.00	PR36+710.75	PR36+740.75	37	Convexa	30.00	PR39+039.18	PR39+069.18

Tabla 2-9. Descripción curvas verticales PR 40 + 507.91 a PR 51 + 058.53

PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV	PIV No.	Forma de Inflexión	Longitud de la Curva (m)	Abscisa PCV	Abscisa PTV
1	Concava	40.00	PR40+507.91	PR40+547.91	18	Convexa	40.00	PR42+499.10	PR42+539.10
2	Convexa	20.00	PR40+559.58	PR40+579.58	19	Concava	140.00	PR42+557.00	PR42+697.00
3	Concava	40.00	PR40+655.10	PR40+695.10	20	Concava	40.00	PR42+732.29	PR42+772.29
4	Convexa	40.00	PR40+700.89	PR40+740.89	21	Convexa	40.00	PR42+780.40	PR42+820.40
5	Concava	60.00	PR40+752.61	PR40+812.61	22	Concava	60.00	PR42+844.90	PR42+904.90
6	Convexa	60.00	PR40+826.42	PR40+886.42	23	Convexa	40.00	PR42+969.15	PR43+009.15

El alineamiento vertical cuenta con 327 curvas verticales con variedad en su forma de inflexión.

### Descripción entretangencias verticales

En seguida se describe las entretangencias verticales, para lo cual se especifica las abscisas de inicio – terminación y longitud, para la carretera en estudio:( Ver tablas 2-11, 2-12, 2-13, 2-14)

Tabla 2-10. Descripción Entretangencias verticales PR 23 + 246.92 a PR 32 + 577.92

Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)	Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)
1	PR23+082.03	PR23+096.64	14.60	41	PR25+165.05	PR25+174.59	9.54
2	PR23+116.64	PR23+119.84	3.20	42	PR25+194.59	PR25+213.12	18.53
3	PR23+139.84	PR23+160.11	20.27	43	PR25+253.12	PR25+364.70	111.58
4	PR23+200.11	PR23+218.50	18.39	44	PR25+404.70	PR25+418.90	14.20
5	PR23+238.50	PR23+240.09	1.59	45	PR25+498.90	PR25+538.50	39.60
6	PR23+260.09	PR23+266.12	6.03	46	PR25+598.50	PR25+623.70	25.20

Tabla 2-11. Descripción Entretangencias verticales PR36+461.28 a PR40+467.72

Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)	Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)
1	PR36+491.28	PR36+529.30	38.02	32	PR38+723.17	PR38+742.12	18.95
2	PR36+559.30	PR36+566.14	6.84	33	PR38+772.12	PR38+854.45	82.33
3	PR36+596.14	PR36+647.32	51.18	34	PR38+884.45	PR38+911.53	27.08
4	PR36+677.32	PR36+710.75	33.43	35	PR38+941.53	PR38+992.92	51.39
5	PR36+740.75	PR36+769.38	28.63	36	PR39+022.92	PR39+039.18	16.26
6	PR36+799.38	PR36+840.96	41.58	37	PR39+069.18	PR39+095.55	26.37

Tabla 2-12. Descripción entretangencias verticales PR 40 + 507.91 a PR 51 + 058.53

Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)	Entretangencia vertical No.	Abscisa PTV	Abscisa PCV	Longitud (m)
1	PR40+547.91	PR40+559.58	11.67	53	PR45+693.47	PR45+699.30	5.83
2	PR40+579.58	PR40+655.10	75.52	54	PR45+719.30	PR45+912.07	192.77
3	PR40+695.10	PR40+700.89	5.79	55	PR45+932.07	PR45+998.29	66.22
4	PR40+740.89	PR40+752.61	11.72	56	PR46+038.29	PR46+038.56	0.27
5	PR40+812.61	PR40+826.42	13.81	57	PR46+078.56	PR46+121.65	43.09
6	PR40+886.42	PR40+888.97	2.55	58	PR46+161.65	PR46+187.19	25.54

Tabla 2-13. Resumen de curvas horizontales, entretangencias horizontales, curvas verticales y entretangencias verticales

Tramo	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Distancia	No. Curvas	No. Espirales	No Entretan Horizontales	No. Curvas Verticales	No Entretan Verticales
1	PR 23 + 246.92	PR 32 + 577.92	9331	217		215	159	158
3	PR 36 + 469.87	PR 40 + 477.07	4007.2	57	5	61	63	62
4	PR 40 + 477.07	PR 51 + 038.52	10561.45	226		225	105	104
<b>TOTAL</b>				500	5	501	327	324

## 2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998 – CARRETERA SECUNDARIA

Para efectos de análisis del presente capítulo, se realizó una relación entre los elementos que describen el diseño geométrico presentado por INESCO S.A. y las especificaciones mínimas y máximas estipuladas por el INVIAS en su manual del año 1998.

A partir del análisis efectuado se encontró que algunos elementos presentan valores muy cercanos al mínimo ó máximo exigido por las especificaciones, pero teóricamente no cumplen por lo cual los análisis hechos se limitan en decir si CUMPLE ó NO CUMPLE.

**2.2.1 Controles para el diseño geométrico: Velocidad de diseño:** La velocidad de diseño de una carretera está en función del *tipo de terreno* y de *la categoría* que caracteriza a la misma.

- ✓ Tipo de terreno: De acuerdo con estudios preliminares al mejoramiento del diseño geométrico de la vía en estudio, desarrollado por INESCO S.A. (Anexo A) se determinó que el tipo de terreno es **Montañoso y Escarpado** con predominancia del primero.
- ✓ Categoría de la vía: La carretera en estudio, de acuerdo con la clasificación *según su función* del manual del INVIAS es secundaria o de segundo orden debido a que comunica cabeceras municipales entre sí. (ver tabla 2-15)

Tabla 2-14. Velocidades de Diseño según tipo de Carretera y Terreno<sup>26</sup>.

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera principal de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Luego de haber definido el tipo de terreno y la categoría de la vía se determinó que la velocidad de diseño está entre 30 y 70 km/h. Debido a la dificultad que presenta tanto la topografía como la geología del terreno se define como velocidad de diseño el mínimo valor igual 30 Km/h.

Al comparar la velocidad de diseño teórica mínima (30 km/h) y el rango de velocidades (25 a 30 km/h) empleados por INESCO S.A. para el diseño geométrico de esta carretera se evidenció que las velocidades empleadas son congruentes con la normatividad. Por tanto, la velocidad empleada para el estudio es de 30 Km/h.

### Vehículo de diseño

Fue establecido por la firma Consultora en el Contrato No. 058/96 de acuerdo con la composición de tráfico como el camión C-3.

### Distancias de visibilidad

La normatividad para diseño geométrico de carreteras del año 1998 considera el análisis de cuatro tipos de distancias de visibilidad como se describe en seguida.

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

<sup>26</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 45

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

Para determinar la DVP se debe identificar el coeficiente de fricción longitudinal llanta – pavimento, para lo cual el INVIAS presenta la siguiente tabla.

Tabla 2-15. Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos<sup>27</sup>.

Velocidad de diseño $V_d$ (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de fricción longitudinal ( $f_l$ )	0.440	0.400	0.370	0.350	0.330	0.320	0.315	0.310	0.305	0.300

Con base en la anterior tabla se determinó  $f_l = 0.44$  a partir de la velocidad de diseño  $V_d=30$  Km/h.

“Para una operación segura de los vehículos al circular sobre curvas verticales, especialmente si son convexas, deben obtenerse distancias de visibilidad adecuadas, como mínimo iguales a la de parada.”<sup>28</sup>

**A. “Curvas verticales convexas:** se presentan dos casos:

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

En el alineamiento vertical la situación más crítica para que el usuario se detenga con seguridad ante un obstáculo, son las curvas verticales cuya forma de inflexión es convexa. El análisis, se basa en calcular la distancia de visibilidad de parada DVP teórica mínima y compararla con la DVP existente en el diseño de la carretera.

<sup>27</sup> Ibíd., p. 50

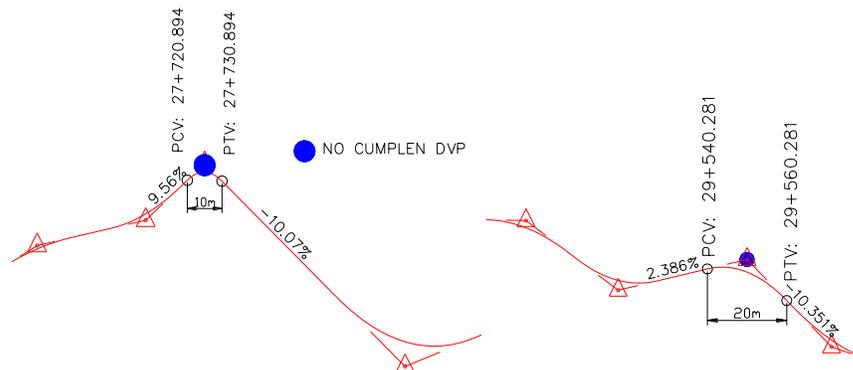
<sup>28</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 112

En seguida se representa cuatro ejemplos de cómo se calcula la DVP en curvas verticales con forma de inflexión de tipo convexa.

Tabla 2-16. Ejemplos de chequeo de la DVP en curvas verticales convexas

PIV No.	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	Longitud de la Curva (m)	DV<L	DVP existente (m)	Vd (Km/h)	FI (-)	Pendiente (%*100)	Distancia Percepcion - Reaccion (m)	Distancia de Frenado (m)	DVP Teórica (m)	Chequeo
84	Convexa	10.610	-8.620	19.230	40.00	SI	29.73	30	0.44	-0.08620	16.68	10.02	26.70	CUMPLE
86	Convexa	3.700	-2.590	6.290	20.00	NO	43.78	30	0.44	-0.02590	16.68	8.56	25.24	CUMPLE
88	Convexa	6.270	2.320	3.950	20.00	NO	63.80	30	0.44	0.02320	16.68	7.65	24.33	CUMPLE
90	Convexa	9.560	-10.070	19.630	10.00	NO	15.83	30	0.44	-0.10070	16.68	10.44	27.12	NO CUMPLE

Figura 2. Curvas verticales convexas que no cumplen con la DVP



La carretera en estudio cuenta con 162 curvas verticales convexas, de las cuales 2 (1.23%) no cumplen con la DVP para una velocidad de diseño igual a 30 km/h como se indica en la figura 2.

Distancia de visibilidad de adelantamiento: “Distancia necesaria para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro, que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento deberá considerarse únicamente para carreteras de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto.”<sup>29</sup>

El INVIAS en su manual del año 1998 especifica que por razones de seguridad se supone que la maniobra de adelantamiento se realiza a la velocidad de diseño, por lo tanto su distancia mínima debe calcularse como 5 veces Vd, es decir que para la carretera en estudio con Vd = 30km/m la distancia mínima de adelantamiento Da = 150m.

Para una Vd = 30km/h, la carretera debe contar con subtramos en los cuales se pueda efectuar la maniobra de adelantamiento como mínimo del 20% de la

<sup>29</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 51

longitud del tramo de vía. Para el presente análisis se divide la carretera en 3 tramos, así:

Tabla 2-17. Cálculo distancia de visibilidad de adelantamiento Da

Tramos	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud Total (m)	Longitud mínima Da (20% LT)	Longitud con Da (Entretangencias $\geq 150m$ )	Observación
Tramo 1	PR23+246.92	PR32+577.92	9331.00	1866.20	151.82	No cuenta con Da
Tramo 2	PR36+469.87	PR40+477.07	4007.20	801.44	0	No cuenta con Da
Tramo 3	PR40+654.38	PR51+038.52	10384.14	2076.83	180.49	No cuenta con Da
		Total	<b>23722.34</b>	<b>4744.47</b>	<b>332.31</b>	

Tan solo un 7% (332.31m) de vía cuenta con distancia de visibilidad de adelantamiento Da con respecto a la longitud mínima (4744.47m) que debería garantizarse equivalente al 20% de la longitud total (23722.34m) de carretera analizada. Por tanto, es una carretera que no cuenta con Da para una velocidad de diseño de 30km/h y por consiguiente no satisface las necesidades del usuario.

### Evaluación de la visibilidad en planos

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

En carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, deben medirse las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento; en carreteras de dos calzadas separadas es suficiente el análisis de visibilidad de parada<sup>30</sup>, por lo cual en el desarrollo de este trabajo se hace su estudio y análisis.

La distancia de visibilidad de parada se evaluó para cada curva diseñada para planos planta- perfil. De esta manera, se aprecia de conjunto el trazado y verifica el cumplimiento de un proyecto más equilibrado.

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

- ✓ Altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: 1.15 metros.
- ✓ Altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar: 0.15 metros.
- ✓ Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: 1.35 metros.”<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Ibíd., p. 58

<sup>31</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 58

## A. Evaluación y presentación de la visibilidad en planta

“Como la visibilidad en planta está limitada por la presencia de obstrucciones laterales tales como puentes, edificaciones, vallas, cercas, vegetación alta, etc., es necesario que ellas aparezcan en los planos para realizar la evaluación. Cuando la obstrucción se debe a los taludes de la secciones en corte, se dibujan en la planta la líneas o trazas del talud a 0.65 metros (promedio entre 1.15 y 0.15 metros) sobre la calzada para distancia de visibilidad de parada.”<sup>32</sup>

Se compara la distancia de visibilidad de parada DVP existente en cada curva horizontal con la DVP mínima calculada a la velocidad de diseño de 30 Km/h y pendiente cero. Si la primera es mayor o igual a 25m, se dice entonces que en planta el tramo a partir de la abscisa en estudio, tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo que circula a esa velocidad de diseño pueda realizar una parada con seguridad, sin limitar la capacidad de la carretera. (Ver tabla 2-19)

Tabla 2-18. Distancia de Visibilidad de Parada para tramos con pendiente 0%

Velocidades de Diseño Vd (Km/h)	Distancia durante la percepción y reacción (m)	Coeficiente de fricción longitudinal ft	Distancia durante el frenado (m)	Distancia de visibilidad de parada Dp (m)	
				Calculada	Redondeada
30	16.68	0.440	8.05	24.73	25
40	22.24	0.400	15.75	37.99	40
50	27.80	0.370	26.60	54.40	55
60	33.36	0.350	40.49	73.85	75
70	38.92	0.330	58.46	97.38	95
80	44.48	0.320	78.74	123.22	125

Se cálculo la DVP en las 505 curvas horizontales que componen la carretera en estudio, de las cuales se encontró que 74 presentan una DVP menor a 25m (14.65%). En la siguiente tabla se presenta cuatro ejemplos del presente análisis. (Ver tabla 2-20)

Tabla 2-19. Chequeo de la DVP en curvas horizontales

PI No.	Tipo de empalme	DVP Existente leída en planos (m)	Velocidad de Diseño (Km/h)	DVP mínima teórica (m)	Chequeo
138	Circular	21.59	30.00	25.00	NO CUMPLE
139	Circular	53.75	30.00	25.00	CUMPLE
140	Circular	37.40	30.00	25.00	CUMPLE
141	Circular	24.86	30.00	25.00	NO CUMPLE

<sup>32</sup> Ibid., p. 59

## B. Evaluación de la visibilidad en perfil

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

En la rasante de la abscisa en estudio, se coloca el "cero" de la reglilla, la cual se gira hasta que su borde superior sea tangente al perfil del proyecto. En estas condiciones, la distancia desde la estación inicial, hasta el punto del perfil interceptado por la paralela a 0.15 m indicará la distancia de visibilidad de parada disponible en el perfil.”<sup>33</sup>

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

**2.2.2 Diseño en planta del eje de la carretera. Curvas horizontales:** El diseño geométrico en planta de la carretera en estudio, está constituido principalmente por empalmes tipo circular simple y en una mínima cantidad se encuentran las de tipo espiral.

Los radios mínimos absolutos para las velocidades específicas sólo podrán ser usados en situaciones extremas, se debe evitar su incorporación sorpresiva en tramos que superan las características mínimas, solamente se usan para situaciones extremas.

Normalmente resultan justificados radios superiores al mínimo, con peraltes inferiores al máximo, que resultan más cómodos tanto para los vehículos lentos (disminuyendo la incidencia de ft negativos), como para vehículos rápidos (que necesitan menores ft). Si se decide emplear radios mayores que el mínimo, habrá que elegir el peralte en forma tal que la circulación sea cómoda, tanto para los vehículos lentos como para los rápidos.”<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 59

<sup>34</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 66

Tabla 2-20. Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de Velocidad Especifica

Velocidad Especifica V (m/s)	Coeficiente de fricción lateral ft (-)	Peralte e% (Máximo)	Peralte e% (Mínimo)	Radio mínimo Corregido R (m)	J (cte) (m3/seg)	Rampa de Peralte Δs (%)	
						Max	Min
30	0,180	8,0	2,0	30	0,7	1,28	0,1*a
40	0,172	8,0	2,0	50	0,7	0,96	
50	0,164	8,0	2,0	80	0,7	0,77	
60	0,157	8,0	2,0	120	0,7	0,64	
70	0,149	8,0	2,0	170	0,7	0,55	
80	0,141	7,5	2,0	235	0,6	0,50	
90	0,133	7,0	2,0	315	0,6	0,48	
100	0,126	6,5	2,0	415	0,5	0,45	
110	0,118	6,0	2,0	535	0,5	0,42	
120	0,110	5,5	2,0	690	0,4	0,40	
130	0,100	5,0	2,0	890	0,4	0,40	
140	0,094	4,5	2,0	1100	0,4	0,40	
150	0,087	4,0	2,0	1400	0,4	0,40	

El análisis de radios mínimos absolutos se realiza para una velocidad de 30 km/h. Es decir, aquellas curvas cuyo radio sea como mínimo 30m se dirá que cumplen con este criterio y por el contrario serán curvas que no cumplen con radio mínimo.

En la tabla 2-22 se presenta cuatro curvas horizontales estudiadas como ejemplo del presente análisis.

Tabla 2-21. Chequeo del radio mínimo absoluto en curvas horizontales

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Vd = 30 Km/h RExistente ≥ Rmín; Rmín = 30m
130	Circular	25.36	NO CUMPLE
131	Circular	39.04	CUMPLE
132	Circular	14.93	NO CUMPLE
133	Circular	185.06	CUMPLE

Como resultado del presente análisis se encontró que la carretera en estudio con un total de 505 curvas horizontales, 194 (38.42%) de ellas cuentan con radios menor al mínimo absoluto, es decir inferiores a 30m.

### Sobrecancho de la calzada

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

Los valores de sobrecancho calculados pueden ser redondeados, para obtener valores que sean múltiplos de 0.10 metros.

Para anchos de calzada en recta > 7.00 metros, no se requiere sobreebancho, salvo en curvas con ángulo de deflexión mayor a 120°.”<sup>35</sup>

Desde el punto de vista práctico, son factibles de construir sobreebanchos como mínimo de 60 cm, este sobreebancho se aplica únicamente en el borde interior de la calzada. Bajo el anterior criterio se realizó el estudio del presente parámetro.

En seguida, se registra la forma de análisis del sobreebancho para curvas horizontales.

Tabla 2-22. Chequeo del sobreebancho en curvas horizontales

Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Sobreebancho existente (m)	Sobreebancho mínimo calculado (m)	Sexistente ≥ Sc calculado
Circular	159.90	0.00	0.4	NO APLICA
Espiral	70.03	0.00	0.9	NO CUMPLE
Espiral	39.42	0.00	1.6	NO CUMPLE
Circular	143.78	0.00	0.4	NO APLICA

Del diseño geométrico de la carretera en estudio se determinó que ninguna de las curvas horizontales cuenta con sobreebancho. Además, 33 son curvas que constructivamente no es factible un sobreebancho y las 472 restantes no cumplen con un sobreebancho mínimo de 0.6 m equivalente al 93.47% del total de curvas analizadas.

Este parámetro se vuelve más importante a medida que el radio de curvatura es menor pues los dos datos conservan una relación inversa. Por ejemplo, para radios muy pequeños como los que caracterizan este proyecto (9.18m) resultan sobreebanchos mínimos de 7.0 m.

### Visibilidad en curvas horizontales

“La visibilidad de la vía en una curva en planta puede verse limitada por obstáculos situados en el interior de la misma. Para evitar esta restricción, debe existir una distancia mínima permitida entre el eje del carril interior, que se toma como trayectoria del vehículo, el radio  $R_1$ , y el obstáculo lateral, que permite a lo largo del sector circular conservar siempre una distancia de visibilidad de parada mayor o igual a la mínima especificada.

En general, en el interior de una curva horizontal hay que despejar, por tanto, de obstáculos en una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos cuya distancia es igual a la de visibilidad deseada.

<sup>35</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 73 - 75

En la tabla 2-24 se presenta ejemplos del análisis de la flecha M en curvas horizontales de la carretera en estudio.

Tabla 2-23. Análisis de la flecha M en curvas horizontales

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Sobreechancho Curva Horizontal S (m)	Ancho Calzada a (m)	Radio eje carril interior R1 (m)	DVP Existente	Flecha Diseño M (m)
250	Circular	20.58	0.00	3.1	19.80	24.92	3.79
251	Circular	118.70	0.00	0.5	118.57	63.84	4.27
252	Circular	18.88	0.00	3.4	18.03	24.01	3.85
253	Circular	26.48	0.00	2.4	25.88	29.96	4.22
254	Circular	26.39	0.00	2.4	25.78	27.88	3.68
255	Circular	23.83	0.00	2.7	23.16	28.17	4.15
256	Circular	12.51	0.00	5.1	11.23	20.80	4.48
257	Circular	26.66	0.00	2.4	26.06	57.02	14.10

Puesto que no se cuenta con la información de obstáculos laterales que limiten la visibilidad del conductor durante su recorrido, no se puede chequear el cumplimiento de este parámetro. La flecha M es una distancia que debe estar libre de obstrucciones o que impida la visual del usuario de la vía, esta distancia debe garantizarse principalmente durante el proceso constructivo, señalización y durante las etapas de operación y mantenimiento de la carretera.

### Curvas circulares

“Las curvas circulares presentan una curvatura constante, la cual es inversamente proporcional al valor del radio. En el diseño de carreteras corresponde a un elemento geométrico de curvatura rígida. La longitud del arco circular se determina multiplicando el valor del radio y el ángulo de deflexión o de giro del arco circular en radianes (Delta c):

Se rechazó curvas circulares cuya longitud haya sido calculada con radios menores a 30m.

En seguida se muestra el análisis del presente parámetro en cuatro curvas tomadas como ejemplo. (Ver tabla 2-25)

Tabla 2-24. Chequeo de la longitud en curvas horizontales

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	$\Delta c$	$\Delta c$ Radianes	Lc calculada (m)	Lc existente	Lc existente >= Lc calculada
342	Circular	54.82	31.88	0.556	30.50	30.51	CUMPLE
343	Circular	29.97	38.75	0.676	20.27	20.18	NO CUMPLE RADIO MÍNIMO
344	Circular	15.07	98.43	1.718	25.89	25.40	NO CUMPLE RADIO MÍNIMO
345	Circular	70.68	21.77	0.380	26.86	26.88	CUMPLE

Se encontró que las curvas horizontales que no cumplen con la longitud mínima son las mismas que no satisfacen el radio absoluto mínimo. Por tanto, de un total de 505 curvas 194 (38.42%) prestan una longitud menor a la mínima.

### Longitud circular mínima

La longitud circular mínima aceptable en este caso, corresponde a la distancia que puede recorrer un móvil a la velocidad de diseño durante 1 segundo. Son deseables longitudes mayores dentro de las limitaciones de la configuración topográfica del sector. Bajo este concepto, para una velocidad de diseño de 30 km/h la parte circular de la curva tipo espiral debe ser como mínimo 8.3m

La carretera en estudio contiene en total 6 curvas horizontales con empalme de tipo Espiral – Circulo – Espiral a las cuales les es analizado el presente criterio así.(ver tabla 2-26)

Tabla 2-25. Chequeo longitud circular mínima curvas con empalme E-C-E

PI No.	Tipo de empalme	Lc existente	LcExistente≥8.3m
8	Espiral	0.25	NO CUMPLE
9	Espiral	3.66	NO CUMPLE
11	Espiral	56.91	CUMPLE
12	Espiral	0.12	NO CUMPLE
15	Espiral	14.80	CUMPLE
30	Espiral	7.13	NO CUMPLE

Como se puede evidenciar en la tabla, de un total de 6 curvas 4 (66.67%) no cuentan con longitud del arco circular mayor o igual a 8.3m

En la tabla 2-27 se presentó el análisis de la longitud mínima y máxima teórica de los ramales de la espiral en relación con las longitudes adoptadas en el diseño geométrico de dichas curvas. Este análisis se realizó con base en el parámetro A mínimo y A máximo calculados a partir de la anterior teoría y ecuaciones.

Tabla 2-26. Chequeo longitud espiral Lemín y Lemáx

PI No.	Tipo de empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le existente (m)	Criterio I A min (m)	Criterio II A min (m)	Criterio III1 A min (m)	Criterio III2 A min (m)	Envolvente superior min (m)	A max (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo LemínLe≤Lemax
8	E-C-E Sim	8.0	70.04	25.50	13.16	39.70	37.89	22.66	39.70	77.04	22.50	84.74	CUMPLE
9	E-C-E Sim	5.0	39.42	15.55	24.43	23.54	24.62	12.76	24.62	43.36	15.38	47.70	CUMPLE
11	E-C-E Asim	8.0	47.00	19.00	19.70	32.52	28.09	15.21	32.52	51.70	22.50	56.87	NO CUMPLE
				12.00	19.70	32.52	28.09	15.21	32.52	51.70	22.50	56.87	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim	8.0	20.07	14.00	25.29	21.25	14.84	6.49	25.29	22.07	31.87	24.28	NO CUMPLE
15	E-C-E Sim	7.0	11.00	10.00	27.15	14.72	9.45	3.56	27.15	12.10	66.99	13.31	NO CUMPLE
30	E-C-E Sim	4.0	21.89	20.00	26.92	15.69	15.84	7.08	26.92	24.08	33.10	26.49	NO CUMPLE

Más de la mitad (66.67%) de las curvas horizontales con empalme de tipo espiral disponen de una longitud de sus ramales fuera del rango entre los límites inferior y superior. Las últimas tres curvas (PI No. 12, 15 y 30) presentan una incongruencia

entre su Lemín y Lemáx debido a que el ultimo valor resulta de multiplicar radios pequeños (20.07, 11.00 y 21.89m) por 1.1.

## **Transición del peralte**

- **Peralte**

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

“Para carreteras de tipo rural se fija un peralte máximo de 0.08 (8%), el cual permite mantener aceptables velocidades específicas y no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores.”<sup>36</sup>

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

En cuanto al diseño geométrico de la vía El Encano – Santiago, solo presenta diagramas de transición de peralte para el tramo comprendido entre las abscisas PR36+ 469.87 a PR 40 + 477.07, el parámetro peralte máximo solo se estudió y analizó para dicho tramo, esto debido a que es posible establecer el grado de cumplimiento comparando valores teóricos y reales y por lo tanto determinando si el diseño es apto o no, lo que se refleja en el grado de seguridad que posee un conductor al transitar por un sector curvo.

En cuanto a este parámetro el manual INV-1998 enuncia lo siguiente: “Para curvas con radio comprendido entre 30 metros y 170 metros, el peralte deberá ser del 8% con variación de velocidad específica entre 30 y 70 km/h respectivamente. Para valores mayores del radio, el peralte se deduce de acuerdo con la ecuación de equilibrio que relaciona el radio, el peralte, la fricción transversal y la velocidad específica. Las curvas con radio comprendido entre 4000 y 7000 metros, tendrán el 2% de peralte y una velocidad específica de 150 km/h. Existen curvas de radio amplio mayores a 7000 metros las cuales no requieren peralte, es decir la sección transversal corresponde al bombeo normal con inclinación transversal del 2%.”<sup>37</sup>

Debido a que no se cuenta con información de velocidades específicas correspondientes a cada curva horizontal empleadas en el diseño, se toma como fundamento para el presente análisis lo citado anteriormente. (Ver tabla 2-28)

---

<sup>36</sup> Ibid., p. 66

<sup>37</sup> Ibid., p. 67

Tabla 2-27. Chequeo peralte curvas horizontales

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad de Diseño Vd (Km/h)	Radio R (m)	Radio Curva Horizontal entre 30 - 170 m	Peralte e% (Diseño)	Chequeo
2	Circular	40.78	70.02	SI	3.00	CUMPLE
3	Circular	65.62	181.32	NO	2.00	NO CUMPLE
4	Circular	36.14	55.00	SI	8.00	FALSO
5	Circular	-	30.00	SI	**	-
6	Circular	26.66	29.92	NO	7.00	NO APLICA
7	Circular	61.62	159.90	SI	2.00	NO CUMPLE

Nota: A las curvas horizontales NO APLICA, les corresponde valores de radio menores a 30 m, esto debido a que están asociadas a velocidades específicas por debajo de la real de diseño, por esta razón no se analizaron en el presente estudio.

\*\* Las curvas etiquetadas mediante este símbolo no presentan diagramas de transición de peralte, por lo tanto no se realiza análisis del parámetro peralte máximo.

El tramo en estudio consta de 62 curvas horizontales, de las cuales por criterios de radio menor a 30 m y falta de información, se analizaron 39 curvas, de las cuales 21 (28.21%) presentan peralte inadecuado con base en las condiciones de diseño.

#### • Transición del peralte

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

Estos valores de la pendiente garantizan no solamente la comodidad de la marcha de los vehículos, sino una buena apariencia de la carretera; y cualquiera que sea el sistema seguido para conformar el peralte total, no deben ser excedidos.”<sup>38</sup>

“La transición del peraltado se debe realizar conjuntamente con la de la curvatura, en tal forma que calzada y bermas formen un solo plano en las secciones peraltadas.”<sup>39</sup>

<sup>38</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p 67

<sup>39</sup> Ibíd., p. 69

“En las curvas circulares, con tramos sin espiral, la transición del peralte se desarrolla una parte en la tangente y la otra en la curva, exigiéndose en el PC y en el PT de la misma entre un 60% y un 80% del peralte total, prefiriéndose valores promedios de este intervalo.”<sup>40</sup>

A continuación, se presenta el chequeo para el parámetro longitud de transición de peralte, se realizó un análisis para curvas circulares teniendo en cuenta que al entrar a la curva circular como mínimo debe haberse desarrollado el 60% del peralte total, este se inicia en la entretangencia anterior o siguiente a la curva según corresponda, por ello se toma en comparación la mitad de entretangencia como correspondencia a la curva en análisis. Se efectuó un segundo análisis para curvas espirales comparando la longitud de transición teórica con la real, resultando un adecuado diseño si la segunda es mayor o igual a la primera.

Tabla 2-28. Chequeo Longitud de transición curvas circulares

PI No.	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	Longitud Entretangencia (m)	Chequeo $60\%Ltd \leq Le/2$
2	Circular	3.00	65.00	-	NO APLICA
			45.00	8.95	NO CUMPLE
3	Circular	2.00	20.00	8.95	NO CUMPLE
			40.00	22.19	NO CUMPLE
4	Circular	8.00	62.50	22.19	NO CUMPLE
			68.75	5.39	NO CUMPLE
5	Circular	**	-	5.39	NO APLICA
			-	11.09	NO APLICA

Para aquellas curvas cuyo análisis NO APLICA se debe a escasas de información respecto al diseño, lo que limita el estudio del presente parámetro.

El tramo en estudio consta de 56 curvas horizontales circulares, de las cuales por falta de información se analizaron 47 curvas, de las cuales 46 (97.87%) no cumplen con el presente parámetro en análisis.

Tabla 2-29. Chequeo Longitud de transición curvas espirales

<sup>40</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p 68

PI No.	Tipo de Empalme	Peralte e% (Diseño)	Valor Le (m)	Longitud Transición Teórica Lt (m)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	Chequeo Ltd ≥ Lt
8	Espiral Sim	4.00	70.00	105.00	40.02	NO CUMPLE
			67.50	101.25	26.8	NO CUMPLE
9	Espiral Sim	4.00	37.50	56.25	26.8	NO CUMPLE
			67.50	101.25	0.03	NO CUMPLE
11	Espiral Sim	8.00	37.50	46.88	0.37	NO CUMPLE
			100.00	125.00	48.76	NO CUMPLE
12	Espiral Asim	5.00	87.50	122.50	48.76	NO CUMPLE
			49.00	68.60	13.24	NO CUMPLE
15	Espiral	8.00	50.00	62.50	20.95	NO CUMPLE
			50.00	62.50	11.97	NO CUMPLE
30	Espiral	8.00	63.75	79.69	100.36	CUMPLE
			67.50	84.38	73.81	NO CUMPLE

Como puede determinarse en la tabla 6-30, de 6 curvas espirales analizadas, 6 curvas (100%) no cumplen con el parámetro longitud de transición, determinándose que este es totalmente inadecuado para el presente diseño.

- **Rampa de peraltes**

“Se define la rampa de peraltes, como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma.

Se presenta los valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peraltes. La pendiente mínima, está determinada, para cualquier velocidad de diseño como la décima parte de la distancia entre el eje de giro y el borde de la calzada.”<sup>41</sup>

A continuación, se presenta el análisis del parámetro rampa de peralte, este se desarrolla tanto para curvas circulares como curvas espirales: (Ver tabla 2-31)

Tabla 2-30. Chequeo Rampa de Peralte curvas circulares

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad de Diseño (Km/h)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	L (m)	Peralte e% (Diseño)	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo
2	Circular	30.00	65.00	39.00	3.00	3.60	0.28	1.28	0.36	NO CUMPLE
		30.00	45.00	27.00		3.60	0.40	1.28	0.36	CUMPLE
3	Circular	30.00	20.00	10.00	2.00	3.60	0.72	1.28	0.36	CUMPLE
		30.00	40.00	20.00		3.60	0.36	1.28	0.36	CUMPLE
4	Circular	30.00	62.50	50.00	8.00	3.60	0.58	1.28	0.36	CUMPLE
		30.00	68.75	55.00		3.60	0.52	1.28	0.36	CUMPLE
5	Circular	30.00	-	-	**	3.60	-	1.28	0.36	NO APLICA
		30.00	-	-		3.60	-	1.28	0.36	NO APLICA

Para aquellas curvas cuyo análisis NO APLICA se debe a falta de información respecto al diseño, lo que limita el estudio del presente parámetro.

<sup>41</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 69

El tramo en estudio consta de 56 curvas horizontales circulares, de las cuales se analizaron 48 curvas, de las cuales 9 (18.75%) no cumplen con el presente parámetro en análisis.

Tabla 2-31. Chequeo Rampa de Peralte curvas espirales

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad de Diseño (Km/h)	Longitud Transición Diseño Ltd (m)	L (m)	Peralte e% (Diseño)	Distancia a (m)	ΔS %	ΔS max	ΔS min	Chequeo
8	Espiral Sim	30.00	40.02	26.68	4.00	3.60	0.54	1.28	0.36	CUMPLE
		30.00	26.8	17.87		3.60	0.81	1.28	0.36	CUMPLE
9	Espiral Sim	30.00	26.8	17.87	4.00	3.60	0.81	1.28	0.36	CUMPLE
		30.00	0.03	0.02		3.60	720.00	1.28	0.36	NO CUMPLE
11	Espiral Sim	30.00	0.37	0.30	8.00	3.60	97.30	1.28	0.36	NO CUMPLE
		30.00	48.76	39.01		3.60	0.74	1.28	0.36	CUMPLE
12	Espiral Asim	30.00	48.76	34.83	5.00	3.60	0.52	1.28	0.36	CUMPLE
		30.00	13.24	9.46		3.60	1.90	1.28	0.36	NO CUMPLE
15	Espiral	30.00	20.95	16.76	8.00	3.60	1.72	1.28	0.36	NO CUMPLE
		30.00	11.97	9.58		3.60	3.01	1.28	0.36	NO CUMPLE
30	Espiral	30.00	100.36	80.29	8.00	3.60	0.36	1.28	0.36	NO CUMPLE
		30.00	73.81	59.05		3.60	0.49	1.28	0.36	CUMPLE

Como puede determinarse en la tabla 6-32, de 6 curvas espirales analizadas, 5 curvas (83.33%) no cumplen con el parámetro rampa de peralte, determinándose que este es inadecuado para el presente diseño. Se puede evidenciar que los PI's 9 y 11 presentan valores excesivamente altos de rampa de peralte, esto debido a que la longitud L es muy pequeña aproximándose a cero, de aquí se puede evidenciar que este tramo presentara posibles problemas de volcamiento.

En seguida se presenta la metodología empleada para efectuar el análisis de este parámetro. (Ver tabla 2-33)

Tabla 2-32. Chequeo entretangencias horizontales

Entretangencia No.	Longitud (m)	Tipo de curvas adyacentes	Curvas adyacentes	Vd (km/h)	Entretangencia teórica mínima (m)	Entretangencia teórica máxima (m)	Chequeo
6	40.02	Circulares	distinto sentido	30	41.7	450.00	NO CUMPLE
7	26.8	Espirales	distinto sentido	30	0.00	450.00	CUMPLE
8	0.03	Circulares	distinto sentido	30	41.7	450.00	NO CUMPLE
9	0.37	Circulares	del mismo sentido	30	125.0	450.00	NO CUMPLE
10	48.76	Espirales	distinto sentido	30	0.00	450.00	CUMPLE
11	13.24	Circulares	distinto sentido	30	41.7	450.00	NO CUMPLE

Como resultado del presente análisis, se encontró que la mayoría de las entretangencias no superó el mínimo valor. De un total de 501 entretangencias horizontales que constituyen el presente proyecto, tan solo 28 (5.6%) de ellas satisfacen las condiciones mínimas y máximas.

Además, se identificó que el principal causante de esta deficiencia en el diseño geométrico se debe a la implementación de más de una curva en donde perfectamente se podría desarrollar una única curva y también debido a que el diseño geométrico de esta vía está muy ceñido a la topografía. En seguida se presentan figuras que corroboran lo anteriormente dicho. (Ver figura 3

Entretangencias nulas con curvas adyacentes de igual sentido, y Figura 3. Entretangencias nulas con curvas adyacentes de igual sentido en anexos)

**2.2.3 Diseño vertical.** El diseño geométrico en perfil de una carretera lo conforman curvas verticales con formas de inflexión de tipo cóncava y convexa. Estas curvas, principalmente están constituidas por una pendiente de entrada y una pendiente de salida que pueden ser de igual o distinto signo y de una longitud. En este trabajo se realizó un análisis de los principales parámetros que abarca el diseño altimétrico de la vía El Encano – Santiago para los tramos anteriormente delimitados con el fin de corroborar si se trata de un carretera segura, cómoda, económica y funcional.

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

Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento, de tal manera que la sección típica adoptada influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición de zonas, en la construcción, mejoramiento, rehabilitación, mantenimiento y en la seguridad de la circulación.”<sup>42</sup>

## **2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008 – CARRETERA SECUNDARIA**

**2.3.1 Controles para el diseño geométrico.** “En el proceso de asignación de la velocidad de diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de ruta tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada velocidad de diseño del tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ), es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

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

---

<sup>42</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.124

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

No obstante lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector del corredor de ruta es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos adyacentes no puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).<sup>43</sup>

La vía El Encano – Santiago presenta una longitud de 27791.60 m, el diseño geométrico de esta carretera se encuentra dividida en 3 sectores. Inicialmente va desde el PR23+246.92 a PR32+577.92, el segundo sector está comprendido entre el PR36+469.87 a PR40+477.07 y por último se tiene el tramo PR40+654.38 a PR51+038.52. Desde la abscisa 32+577.92 a 36+469.87 no existe diseño geométrico razón por la cual no es analizado, por otra parte los sectores mencionados serán trabajados como tramos homogéneos.

**2.3.2 Diseño en planta del eje de la carretera. Curvas horizontales:** Como ya se mencionó, este proyecto comprende el estudio de 505 curvas horizontales de las cuales la mayor parte son circulares simples y tan solo 6 presentan empalme de tipo espiral.

### **Empalme Espiral – Círculo – Espiral (E-C-E)**

“Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión ( $\Delta$ ) mediante arcos de transición y un arco circular de Radio (RC). Los arcos de transición corresponden a espirales Clotoides que pueden ser de igual o diferente parámetro (A), es decir el empalme espiralizado puede ser simétrico de igual parámetro o asimétrico de diferente parámetro A1 y A2 para cada espiral.”<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 37

<sup>44</sup> Ibid., p 79

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

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

Para la selección de la pendiente máxima de una tangente vertical en particular, está asociada a la velocidad específica de la tangente vertical (VTV). (Ver tabla 2.34)

Tabla 2-34. Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL VTV (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Para ser más explícitos, toda la longitud de la tangente vertical, de PIV a PIV, está cubierta por la rama de salida de la curva vertical anterior y por la rama de entrada de la curva vertical siguiente.”<sup>45</sup>

En seguida se presenta el proceso de análisis en cuanto a “pendiente máxima y mínima de alineamientos verticales” así:

<sup>45</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

Tanto para  $V_{TR}$  de 30 Km/h como de 40 km/h a las cuales se encuentran asociadas  $V_{CV}$ 's de los mismos valores, la pendiente mínima recomendada es del 0.5%.

Tabla 2-35. Análisis Pendiente Máxima y Mínima  $V_{TR}=30$  km/h

Entretangencia vertical No.	Pte existente (%)	Chequeo Pte existente $\leq$ -%	Chequeo Pte existente $\geq$ 0.5%
1	2.158	-	CUMPLE
2	4.026	-	CUMPLE
3	6.133	-	CUMPLE
4	3.641	-	CUMPLE
5	1.706	-	CUMPLE

Para  $V_{TR}$  de 30 km/h no hay valor de pendiente máxima teórica asociada a las condiciones de estudio por lo cual no se efectúa análisis, en cuanto a pendiente mínima de 326 entretangencias verticales analizadas, 16 (4.94 %) no cumple con este parámetro. (Ver tabla 2-35)

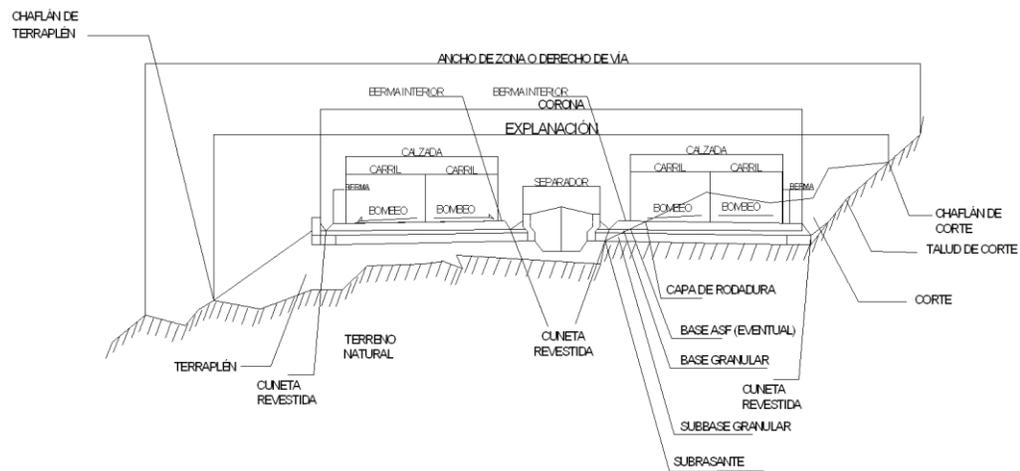
Tabla 2-36. Análisis Pendiente Máxima y Mínima  $V_{TR}=30$  km/h

Entretangencia vertical No.	Pte existente (%)	Chequeo Pte existente $\leq$ 10%	Chequeo Pte existente $\geq$ 0.5%
1	2.158	CUMPLE	CUMPLE
2	4.026	CUMPLE	CUMPLE
3	6.133	CUMPLE	CUMPLE
4	3.641	CUMPLE	CUMPLE
5	1.706	CUMPLE	CUMPLE

Para  $V_{TR}$  de 40 km/h, la pendiente máxima teórica es del 10%, de 324 entretangencias verticales analizadas, 69 (21.30%) presentan valores inferiores a esta. En cuanto a pendiente mínima de 326 entretangencias verticales analizadas, 16 (4.94 %) no cumplen con este parámetro. (Ver tabla 2-36)

**2.3.5 Sección transversal.** La sección transversal describe los elementos de la carretera en un plano normal a su eje. En la Figura 3, se ilustra la sección típica según para una carretera principal de dos calzadas.

“Figura 3. Sección transversal típica para carretera principal de dos calzadas”<sup>46</sup>



### 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.”<sup>47</sup>

### Calzada

“La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas. La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada se debe ejecutar de conformidad con las disposiciones del “Manual de Dispositivos para la regulación del tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.”<sup>48</sup>

### Ancho de calzada

En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis metros (6 m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario. (Ver tabla 2-37)

<sup>46</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 148

<sup>47</sup> Ibid., p 147

<sup>48</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 151

Tabla 2-37. Ancho de calzada (metros)<sup>49</sup>

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (V <sub>TR</sub> ) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

El ancho de calzada en tramos rectos, se calcula mediante la anterior tabla para lo cual se tiene en cuenta el tipo de carretera, la velocidad de diseño y el tipo de terreno; para esta carretera de tipo secundaria, el tipo de terreno entre montañoso y ondulado y una V<sub>TR</sub> igual a 30km/h se observa que no hay ancho de calzada mínimo asociado por lo cual no se efectúa análisis.

Si se efectúa el mismo análisis para V<sub>TR</sub> de 40 Km/h se determina que el ancho mínimo es 6.60 metros.

Esta carretera tiene como ancho de calzada 7.3m, para lo cual se realizó medidas en diferentes puntos a lo largo de toda la vía. Este resultado permite concluir que el ancho de calzada con el cual fue diseñada la vía es superior al mínimo exigido para las condiciones de la misma.

### Pendiente transversal en entretangencias horizontales

“Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua.

En entretangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura.

Tabla 2-38. Bombeo de la calzada<sup>50</sup>

Tipo de Superficie de rodadura	Bombeo (%)
Superficie en concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2-3
Superficie de tierra o grava	2-4

<sup>49</sup> Ibíd. ,p 151

<sup>50</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 151

Basándose de manera general en los datos de la tabla 2-38, se puede decir que es adecuado tomar un valor mínimo de bombeo igual al 2% (valor muy frecuente en proyectos de diseño geométrico); y comparando con los diagramas de transición de peraltado para el tramo que lo presenta (PR36+ 469.87 a PR 40 + 477.07), se puede decir que el presente parámetro es totalmente adecuado (Se cumple en un 100%).

## Bermas

“La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad. Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.”<sup>51</sup>

## Ancho de berma

“El ancho de las bermas depende de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR). En la Tabla 2-39 se presenta el ancho que deben tener.

Tabla 2-39. Ancho de bermas

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V <sub>TR</sub> ) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/1,0	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.5	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.8	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

1 Berma derecha/Berma izquierda

2 Berma cuneta

<sup>51</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 152

Si la carretera tiene una sola calzada, las bermas deben tener anchos iguales. En caso de corresponder a una carretera unidireccional con calzadas separadas, existirán bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior.”<sup>52</sup>

Teniendo en cuenta la categoría de la carretera para el presente proyecto como secundaria y para el tipo de terreno predominante entre Ondulado y Montañoso, se tiene que para  $V_{TR}$  de 30 Km/h no hay valor de ancho de berma asociado, por lo cual no se analiza este parámetro, en cuanto a  $V_{TR}$  de 40 km/h y tomando las mismas condiciones de terreno y categoría de la vía expuestas anteriormente, se tiene que el ancho mínimo de berma es de 50 cm, En planos, se tiene que el ancho de berma suministrado tanto al borde derecho como al borde izquierdo es de 1 metro para toda la carretera en estudio. Aparentemente este valor es superior al mínimo estipulado por la normatividad, mas sin embargo al transitar por este tramo vía se puede evidenciar que no se dispone de berma en ninguno de los bordes de la calzada, por lo cual este diseño geométrico no cumple con el presente parámetro en un 100%.

#### **2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 1998 – CARRETERA PRINCIPAL DE UNA CALZADA**

Para efectos de análisis del presente capítulo, se realizó una relación entre los elementos que describen el diseño geométrico presentado por INESCO S.A. y las especificaciones mínimas y máximas estipuladas por el INVIAS en su manual del año 1998.

A partir del análisis efectuado se encontró que algunos elementos presentan valores muy cercanos al mínimo ó máximo exigido por las especificaciones, pero teóricamente no cumplen, por lo cual los análisis que se hacen a continuación se limitan en decir si CUMPLE ó NO CUMPLE.

Los planteamientos teóricos fundamentados en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, fueron expuestos por lo cual indica el proceso de análisis y su respectivo resultado.

**2.4.1 Controles para el diseño geométrico.** La velocidad de diseño de una carretera está en función del *tipo de terreno* y de *la categoría* que caracterizan a la misma.

- ✓ Tipo de terreno: De acuerdo con estudios preliminares al mejoramiento del diseño geométrico de la vía en estudio, desarrollado por INESCO S.A. (Anexo A) se determinó que el tipo de terreno es **Montañoso y Escarpado** con predominancia del primero.

---

<sup>52</sup> Ibid., p 153

- ✓ Categoría de la vía: La carretera en estudio, de acuerdo con la clasificación *según su función* del manual del INVIAS es primaria o de primer orden de una calzada debido a que es una transversal que comunica o tiene accesos a capitales de departamentos como lo es la ciudad de San Juan de Pasto. (Ver tabla 2-40)

Tabla 2-40. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno<sup>53</sup>.

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño Vd (Km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
Carretera Principal de dos calzadas	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Carretera principal de una calzada	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Carretera secundaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Carretera terciaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											

Rango de Velocidades según tipo de terreno y carretera

Luego de haber definido el tipo de terreno y la categoría de la vía se determinó que la velocidad de diseño está entre 60 y 90 km/h. Debido a la dificultad que presenta tanto la topografía como la geología del terreno se define como velocidad de diseño el mínimo valor igual 60 km/h.

Al comparar la velocidad de diseño teórica mínima (60 km/h) y el rango de velocidades (25 a 30 km/h) empleados por INESCO S.A. para el diseño geométrico de esta carretera se puede evidenciar que las velocidades empleadas son inferiores y no presentan concordancia de acuerdo a lo expuesto en el manual para el diseño geométrico del INVIAS – año 1998. Por tanto, para el presente estudio tenemos dos tipos de velocidades, la primera denominada teórica mínima de diseño (Denominada **Vtmd** para el presente estudio) cuyo valor es de 60 km/h y la velocidad real de diseño (denominada **Vrd** para el presente estudio) cuyo valor es de 30 Km/h.

<sup>53</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 45

**2.4.2 Diseño en planta del eje de la carretera. Radios mínimos absolutos** Los radios mínimos absolutos para las velocidades específicas indicadas se encuentran descritos en la tabla 2-41; y sólo pueden ser usados en situaciones extremas, debe evitarse su incorporación sorpresiva en tramos que superan las características mínimas, solamente se deben usar para situaciones extremas.

Tabla 2-41. Parámetros básicos para el diseño de curvas horizontales en función de Velocidad Específica

Velocidad Específica V (m/s)	Coeficiente de fricción lateral ft (-)	Peralte e% (Máximo)	Peralte e% (Mínimo)	Radio mínimo Corregido R (m)	J (cte) (m3/seg)	Rampa de Peralte $\Delta s$ (%)	
						Max	Min
30	0,180	8,0	2,0	30	0,7	1,28	0,1*a
40	0,172	8,0	2,0	50	0,7	0,96	
50	0,164	8,0	2,0	80	0,7	0,77	
60	0,157	8,0	2,0	120	0,7	0,64	
70	0,149	8,0	2,0	170	0,7	0,55	
80	0,141	7,5	2,0	235	0,6	0,50	
90	0,133	7,0	2,0	315	0,6	0,48	
100	0,126	6,5	2,0	415	0,5	0,45	
110	0,118	6,0	2,0	535	0,5	0,42	
120	0,110	5,5	2,0	690	0,4	0,40	
130	0,100	5,0	2,0	890	0,4	0,40	
140	0,094	4,5	2,0	1100	0,4	0,40	
150	0,087	4,0	2,0	1400	0,4	0,40	

El análisis de radios mínimos absolutos se realiza para una velocidad de 60 km/h. Es decir, aquellas curvas cuyo radio sea como mínimo 120m se dice que cumplen con este criterio y por el contrario son curvas que no cumplen con radio mínimo.

En la tabla 2.42 se presenta cinco curvas horizontales estudiadas como ejemplo del presente análisis.

Tabla 2-42. Chequeo del radio mínimo absoluto en curvas horizontales

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	Vd = 60 Km/h RExistente $\geq$ Rmín; Rmín = 120m
6	Circular	69.64	NO CUMPLE
5	Circular	609.19	CUMPLE
4	Circular	39.57	NO CUMPLE
3	Circular	43.92	NO CUMPLE
2	Circular	88.83	NO CUMPLE

Como resultado del presente análisis se encontró que la carretera en estudio con un total de 505 curvas horizontales, 475 (94.06%) de ellas cuentan con radios menor al mínimo absoluto, es decir inferiores a 120m.

**2.4.3 Diseño vertical.** El diseño geométrico en perfil de una carretera lo conforman curvas verticales con formas de inflexión de tipo cóncava y convexa. Estas curvas, principalmente están constituidas por una pendiente de entrada y una pendiente de salida que pueden ser de igual o distinto signo y de una longitud. Se realizó un análisis de los principales parámetros que abarca el diseño altimétrico de la vía El Encano – Santiago para los tramos anteriormente delimitados con el fin de corroborar si se trata de un carretera segura, cómoda, económica y funcional.

### Pendiente

En la tabla siguiente se indican las pendientes máximas recomendadas a utilizar en función del tipo de carretera, tipo de terreno y velocidad de diseño: (ver tabla 2-43)

“Tabla 2-43. Relación entre pendiente máxima (%) y velocidad de diseño”<sup>54</sup>

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	4	3	3	3
	Ondulado	-	-	-	-	-	5	5	4	4	4
	Montañoso	-	-	-	-	-	6	6	5	5	5
	Escarpado	-	-	-	-	-	7	6	6	6	-
Carretera principal de una calzada	Plano	-	-	-	-	5	4	4	3	-	-
	Ondulado	-	-	-	6	6	5	5	4	-	-
	Montañoso	-	-	-	8	7	7	6	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	8	8	7	-	-	-	-
Carretera secundaria	Plano	-	-	7	7	7	6	-	-	-	-
	Ondulado	-	11	10	10	9	8	-	-	-	-
	Montañoso	-	12	11	11	10	-	-	-	-	-
	Escarpado	15	14	13	12	-	-	-	-	-	-
Carretera terciaria	Plano	-	7	7	7	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	11	11	10	10	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	14	13	13	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	16	15	14	-	-	-	-	-	-	-

Para la vía en estudio, cuya velocidad de diseño es de 60km/h, se clasifica como carretera principal de una calzada y el tipo de terreno está entre montañoso y escarpado admite una pendiente máxima del 8% y una pendiente mínima del 0.5%. Para lo cual, se realizó un chequeo de todas las pendientes que conforman el diseño geométrico en perfil y se admite únicamente las que se encuentren dentro de este rango.

<sup>54</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.108

En la tabla 2-44 se indica el análisis de pendientes que rigen el diseño altimétrico de esta carretera.

Tabla 2-44. Análisis de pendientes mínimas y máximas

Entretangencia vertical No.	Pte existente (%)	Chequeo Pte existente <= 8%	Chequeo Pte existente >= 0.5%
1	2.158	CUMPLE	CUMPLE
2	4.026	CUMPLE	CUMPLE
3	6.133	CUMPLE	CUMPLE
4	3.641	CUMPLE	CUMPLE
5	1.706	CUMPLE	CUMPLE

Como resultado del análisis de pendientes, se obtuvo que de un total de 324 entretangencias verticales 71 (21.91%) de ellas presentan pendientes por encima del 8% y 50 (15.93%) con pendientes inferiores a 0.5%. Estas últimas representan el causante para un mal drenaje y posible factor de accidentabilidad durante periodos de lluvia, mientras que las pendientes muy elevadas no satisfacen las condiciones de operación para una velocidad de 60km/h.

### Longitud crítica

Debido a que el presente criterio es independiente de la velocidad, los resultados obtenidos son similares al análisis efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras año 1998, considerando la vía como una carretera secundaria.

### Curvas verticales

**Longitud mínima de curvas verticales.** A continuación, se presenta el análisis para la velocidad de diseño de 60Km/h, para curvas verticales con forma de inflexión cóncava y convexa: (Ver tabla 2-45)

Tabla 2-45. Análisis de longitud mínima de curvas verticales

PIV No.	Forma de Inflexión	S1 (%)	S2 (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	Longitud de la Curva existente (m)	Longitud de la Curva mínima (m)	Observación
1	Concava	-1.350	8.420	9.770	40.00	127.01	NO CUMPLE
2	Convexa	8.420	-0.090	8.510	20.00	110.63	NO CUMPLE
3	Concava	-0.090	6.840	6.930	40.00	90.09	NO CUMPLE
4	Convexa	6.840	-4.750	11.590	40.00	150.67	NO CUMPLE
5	Concava	-4.750	0.000	4.750	60.00	61.75	NO CUMPLE
6	Convexa	0.000	-5.840	5.840	60.00	75.92	NO CUMPLE
7	Convexa	-5.840	-10.440	4.600	100.00	59.80	CUMPLE

El diseño geométrico en perfil de la carretera el Encano – Santiago con un total de 327 curvas verticales, 320(97.86%) presentan una longitud inferior a la mínima especificada por el INVIAS.

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

Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento, otros, de tal manera que la sección típica adoptada influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición de zonas, en la construcción, mejoramiento, rehabilitación, mantenimiento y en la seguridad de la circulación.”<sup>55</sup>

### **Elementos**

La sección transversal de una carretera está compuesta por los siguientes elementos: ancho de zona o derecho de vía, corona, calzada, bermas, carriles, cunetas, taludes y elementos complementarios.

El presente estudio se enfoca a analizar los elementos como ancho de zona, corona, calzada, bermas y carriles.

## **2.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA EL ENCANO - SANTIAGO REFERENCIADO AL MANUAL DEL AÑO 2008 – CARRETERA PRINCIPAL DE UNA CALZADA**

**2.5.1 Controles para el diseño geométrico.** La vía El Encano – Santiago presenta una longitud de 27791.60 m, el diseño geométrico de esta carretera se encuentra dividida en 3 sectores. Inicialmente va desde el PR23+246.92 a PR32+577.92, el segundo sector está comprendido entre el PR36+469.87 a PR40+477.07 y por último se tiene el tramo PR40+654.38 a PR51+038.52. Desde la abscisa 32+577.92 a 36+469.87 no existe diseño geométrico razón por la cual no es analizado, por otra parte los sectores mencionados serán trabajados como tramos homogéneos.

### **Velocidad de diseño**

“La velocidad de diseño de un tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.

---

<sup>55</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p.124

2-46. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno”<sup>56</sup>

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V <sub>TR</sub> (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

De la anterior tabla, se identifica que para una carretera principal de una calzada y con terreno de tipo montañoso a escarpado la velocidad de tramo homogéneo V<sub>TR</sub> correspondiente es de 60Km/h. Al comparar este valor con la velocidad igual a 30Km/h con que fue diseñada la carretera se nota una discrepancia, es decir que la velocidad empleada en el diseño por INESCO S.A. no se ajusta a las exigencias del manual de diseño geométrico para carreteras del año 2008.

Debido a lo anterior se realizó un doble análisis teniendo en cuenta un V<sub>TR</sub> teórico mínimo de 60Km/h y un V<sub>TR</sub> de 30km/h velocidad con que fue diseñado la vía y así poder realizar el análisis comparativo entre las dos versiones de la normatividad.

Sin embargo, el análisis para una V<sub>TR</sub> de 30km/h se realizo, por lo tanto, el presente análisis se efectúa para una V<sub>TR</sub> teórico mínimo de 60km/h.

En cuanto a la longitud mínima de tramo de 4000 metros para una velocidad entre 60 y 110 Km/h se evidencia que los tres tramos homogéneos propuestos satisfacen esta condición.

**Distancia de visibilidad**

Las distancias de visibilidad que deben ser consideradas en el diseño geométrico de una carretera bajo la normatividad del INVIAS – 2008 son: distancia de visibilidad de parada (Dp), distancia de visibilidad de adelantamiento (Da) y distancia de visibilidad de cruce (Dc). El presente proyecto comprende el análisis de las dos primeras por ser una carretera principal con dos carriles de circulación en diferentes sentidos. La Dc no será analizada porque el presente trabajo no comprende el estudio de intersecciones.

<sup>56</sup> Ibid., p 38

## Distancia de visibilidad de parada (Dp)

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

El análisis consiste en calcular la Dp teórica mínima asociada a la distancia de percepción – reacción y la distancia de frenado y compararla con la Dp existente. Si esta última resulta ser como mínimo igual a la Dp teórica la curva vertical cumple con este parámetro. Por el contrario, se dice que dicha curva no cuenta con suficiente distancia de visibilidad de parada y por consiguiente es un sector que va en contra de la seguridad del usuario que transite por esta vía.

Al igual que para la normatividad del año 1998, este parámetro únicamente es evaluado en curvas verticales convexas, ya que estas por su misma forma de inflexión representan la situación crítica para que el usuario se detenga con seguridad ante un obstáculo.

### Distancia de visibilidad de adelantamiento (Da)

“En la tabla 2-47 se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento (Da), calculados para carreteras de dos carriles, dos sentidos.

Tabla 2-47. Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles, dos sentidos

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA VETH (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTADO, V (Km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO DA (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

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

De acuerdo a lo anterior, para la carretera en estudio considerando una  $V_{TR} = 60$  Km/h, para que el tramo recto cuente con suficiente distancia en la cual se pueda realizar la maniobra de adelantamiento con seguridad esta debe ser como mínimo de 410 m.

Tras efectuar el análisis de la  $D_a$  en todas las entretangencias horizontales que componen esta carretera se encontró que ninguna de ellas presenta una distancia suficiente para efectuar dicha maniobra. Por tanto, esta carretera presenta 0.0 % de  $D_a$  para una  $V_{TR} = 60$  km/h.

## **Evaluación de la visibilidad en planos**

### **A. Evaluación y presentación de la visibilidad en planta**

Para la evaluación de la distancia de visibilidad de parada en planta leída sobre planos, la normatividad emanada por el INVIAS en el año 2008 modifica algunos valores con respecto a la del año 1998 tales como *la altura de los ojos del conductor y la altura del objeto que debe ver el conductor*, pero se conserva el promedio de las dos que es de 0.65 metros. Por tanto, el análisis de este aspecto independientemente de la versión de manual que se emplee arroja los mismos valores con respecto a obstrucciones laterales (Taludes) que limiten la visibilidad.

Por lo anterior, no se realizó este análisis para la normatividad del 2008 ya que daría como resultado lo que se obtuvo al hacer el estudio con el manual del año 1998.

### **B. Evaluación de la visibilidad en perfil**

Este análisis para curvas verticales cuya forma de inflexión es de tipo convexa ya fue efectuado y resulta ser más preciso por ser un proceso matemático.

**2.5.2 Diseño en planta del eje de la carretera Curvas Horizontales.** Como ya se mencionó, este proyecto comprende el estudio de 505 curvas horizontales de las cuales la mayor parte son circulares simples y tan solo 6 presentan empalme de tipo espiral.

### **Radio de curvatura mínimo (RCmín)**

En la tabla 2-48 se indica los valores de Radio mínimo para diferentes Velocidades Específicas ( $V_{CH}$ ) según el peralte máximo ( $e_{máx}$ ) y la fricción máxima ( $f_{Tmáx}$ ).

Tabla 2-48. Radios mínimos para peralte máximo  $e_{\max} = 8\%$  y fricción máxima<sup>57</sup>

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

Por lo anterior, el análisis de radio mínimo se realizó para una velocidad mínima para las condiciones de la vía con la normatividad del año 2008  $V_{TR}=60$  km/h considerando como valor limite 113m

En seguida se muestra la manera de análisis del radio mínimo para un  $V_{TR} = 60$  Km/h. (Ver tabla 2-49)

Tabla 2-49. Análisis radios mínimos para VTR de 60 km/h

PI No.	Tipo de empalme	Radio Existente (m)	RExistente $\geq$ Rmín; Rmín = 113m
129	Circular	18.47	NO CUMPLE
130	Circular	25.36	NO CUMPLE
131	Circular	39.04	NO CUMPLE
132	Circular	14.93	NO CUMPLE
133	Circular	185.06	CUMPLE

Tras el estudio de radio mínimo en las 505 curvas horizontales que conforman el diseño geométrico en planta de esta carretera se determinó, que para una velocidad de tramo homogéneo  $V_{TR} = 60$  km/h 471 (93.27%) curvas presentan un radio menor a 113 metros.

<sup>57</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, p 104

## Longitud mínima y máxima de la espiral

A continuación se presenta el estudio de la longitud mínima y máxima de las 6 espirales que se tienen en este proyecto para un  $V_{TR}$  de 60 Km/h. (Ver tabla 2-50)

Tabla 2-50. Análisis de longitud mínima y máxima de espirales para una  $V_{TR} = 60\text{km/h}$

PI No.	Tipo de empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Le existente (m)	Criterio I A min (m)	Criterio II A min (m)	Criterio III1 A min (m)	Criterio III2 A min (m)	Envolvente superior A min (m)	A max (m)	Le min (m)	Le max (m)	Chequeo LeminsLeS Lemax
8	E-C-E Sim	8.0	70.04	25.50	72.85	56.14	37.89	22.66	72.85	77.04	75.77	84.74	NO CUMPLE
9	E-C-E Sim	5.0	39.42	15.55	78.45	33.30	24.62	12.76	78.45	43.36	156.11	47.70	NO CUMPLE
11	E-C-E Asim	8.0	47.00	19.00	75.74	45.99	28.09	15.21	75.74	51.70	122.05	56.87	NO CUMPLE
				12.00	75.74	45.99	28.09	15.21	75.74	51.70	122.05	56.87	NO CUMPLE
12	E-C-E Sim	8.0	20.07	14.00	78.99	30.05	14.84	6.49	78.99	22.07	310.93	24.28	NO CUMPLE
15	E-C-E Sim	7.0	11.00	10.00	80.21	20.81	9.45	3.56	80.21	12.10	584.92	13.31	NO CUMPLE
30	E-C-E Sim	4.0	21.89	20.00	80.06	22.19	15.84	7.08	80.06	24.08	292.82	26.49	NO CUMPLE

Para un  $V_{TR} = 60\text{km/h}$ , de las 6 curvas horizontales con empalme de tipo espiral presentes en esta carretera ninguna cumple con la longitud mínima de espiral.

## Sobrecancho de calzada

El sobrecancho de calzada, es un parámetro muy importante que brinda seguridad al usuario al transitar por un tramo curvo de la vía, esto debido a que le brinda un margen de espacio de recorrido en caso de emergencia, el manual INV – 2008 nos presenta dos situaciones bajo las cuales se calcula el sobrecancho: la primera para vehículos rígidos cuyo análisis es similar al ya efectuado mediante el manual INV – 1998 y la segunda para vehículos articulados.

Para el análisis del sobrecancho se tuvo en cuenta aquellos valores mayores o iguales a 0.6 m que son constructivamente adecuados y se debe aplicar solamente en el borde interior de la calzada, en caso contrario el análisis NO APLICA. (Ver tabla 2-51)

Tabla 2-51. Análisis sobrecancho vehículos articulados para un  $V_{TR} = 30\text{km/h}$

PI No.	Tipo empalme	Radio Rc (m)	VCH (Km/h)	Ancho AT (m)	No. Carriles n	U (m)	C (m)	Fa (m)	Z (m)	Ancho AC (m)	Sobrecancho mínimo calculado (m)	Sobrecancho existente (m)	Sexistente $\geq$ Scalculado
6	Circular	69.64	30.00	7.30	2.00	2.94	0.93	0.11	0.07	7.92	0.62	0.00	NO CUMPLE
5	Circular	609.19	30.00	7.30	2.00	2.63	0.93	0.01	0.02	7.15	0.00	0.00	NO APLICA
4	Circular	39.57	30.00	7.30	2.00	3.22	0.93	0.20	0.09	8.57	1.27	0.00	NO CUMPLE
3	Circular	43.92	30.00	7.30	2.00	3.15	0.93	0.18	0.08	8.42	1.12	0.00	NO CUMPLE
2	Circular	88.83	30.00	7.30	2.00	2.87	0.93	0.09	0.06	7.73	0.43	0.00	NO APLICA
1	Circular	117.54	30.00	7.30	2.00	2.80	0.93	0.07	0.05	7.57	0.27	0.00	NO APLICA

Del diseño geométrico de la carretera en estudio se determinó que ninguna de las curvas horizontales cuenta con sobreebanco. Además, para  $V_{TR} = 60$  Km/h 49 son curvas que constructivamente no es factible un sobreebanco y las 456 restantes no cumplen con un sobreebanco mínimo de 0.6 m equivalente al 90.30% del total de curvas analizadas.

### Visibilidad en curvas horizontales

A partir del análisis geométrico de la flecha M, se puede evaluar la visibilidad en curvas horizontales, de ahí la importancia de este parámetro respecto a la seguridad para transitar por un sector en curva, el presente análisis no se efectúa debido a que los resultados son los ya obtenidos mediante el Manual INV – 1998, ya que el sustento teórico no presenta variación, además el cálculo no es función de la velocidad.

### Curvas espirales

El tramo de carretera a ser analizado cuenta con un total de 505 curvas horizontales, de las cuales 6 presentan empalme tipo de espiral y las restantes son de tipo circular.

### Transición de peralte

Debido a escasas de información respecto a la transición de peraltado, el análisis del presente parámetro se efectúa solo para el tramo comprendido entre las abscisas PR36+ 469.87 a PR 40 + 477.07.

En seguida se presenta la metodología empleada para efectuar el análisis de este parámetro; para el cual no se analizarán curvas con radios menores 113 m debido a que se encuentran asociados a velocidades inferiores a 60 Km/h.

Para aquellas curvas cuyo análisis NO APLICA, se debe a escasas de información en cuanto a transición de peraltado o bien porque el valor del radio se encuentra por debajo del límite mínimo ya analizado en el parámetro radios mínimos absolutos.

Tabla 2-52. Análisis peralte máximo para  $V_{TR}=60$  km/h

PI No.	Tipo de Empalme	Velocidad Especifica Curva Horizontal VCH (Km/h)	Radio R (m)	Peralte e% (Teórico)	Peralte e% (Diseño)	Chequeo
2	Circular	60.00	70.02	-16.60	3.00	NO CUMPLE
3	Circular	60.00	181.32	-16.84	2.00	NO CUMPLE
4	Circular	60.00	55.00	-16.48	8.00	NO CUMPLE
5	Circular	60.00	30.00	-16.06	**	NO APLICA

Como se puede evidenciar en la anterior tabla (para  $V_{TR} = 60$  Km/h) la totalidad de curvas analizadas (100%) presentan peralte inadecuado de acuerdo a lo expuesto en el manual INV – 2008.

- **Transición de peralte**

Debido a que el fundamento teórico para el parámetro transición de peralte no presenta cambios respecto al manual INV – 1998, los resultados son los mismos, y ellos fueron tomados como representativos para el estudio actual.

- **Rampa de peralte**

Debido a que el fundamento teórico para el parámetro transición de peralte no presenta cambios respecto al manual INV – 1998, los resultados fueron los mismos, se debe tener en cuenta también que el presente análisis no es función de la velocidad, por lo tanto, los resultados son los mismos como se dijo anteriormente y ellos serán tomados como representativos para el estudio actual.

### **Entretangencia horizontal**

El estudio de este parámetro, indicando cuadro de análisis para algunas entretangencias se presenta a continuación: (Ver tabla 2-53)

Tabla 2-53. Análisis Entretangencia horizontal máxima y mínima  $V_{TR}=60$  km/h

Abcisa Fin	Tipo de curvas adyacentes	Curvas adyacentes "del mismo sentido"	Vd (km/h)	Entretangencia teórica mínima	Entretangencia teórica máxima	Observación
PR 40 + 686.70	Circulares	NO	60	83.3	900.00	NO CUMPLE
PR 40 + 736.07	Circulares	NO	60	83.3	900.00	NO CUMPLE
PR 40 + 806.77	Circulares	NO	60	83.3	900.00	NO CUMPLE
PR 40 + 887.70	Circulares	NO	60	83.3	900.00	NO CUMPLE
PR 40 + 940.81	Circulares	NO	60	83.3	900.00	NO CUMPLE

Como resultado del presente análisis, se encontró que la mayoría de las entretangencias no superan el mínimo valor. De un total de 501 entretangencias horizontales que constituyen el presente proyecto, tan solo 7 (1.40%) de ellas satisfacen las condiciones mínimas y máximas.

**2.5.3 Diseño vertical pendiente.** Se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV). (Ver tabla 2-54)

Tabla 2-54. Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL VTV (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

En seguida, se presenta el proceso de análisis en cuanto a “Pendiente Máxima y Mínima de alineamientos verticales” así:

Para  $V_{TR}$  de 60 km/h, la pendiente mínima recomendada es del 0.5%.

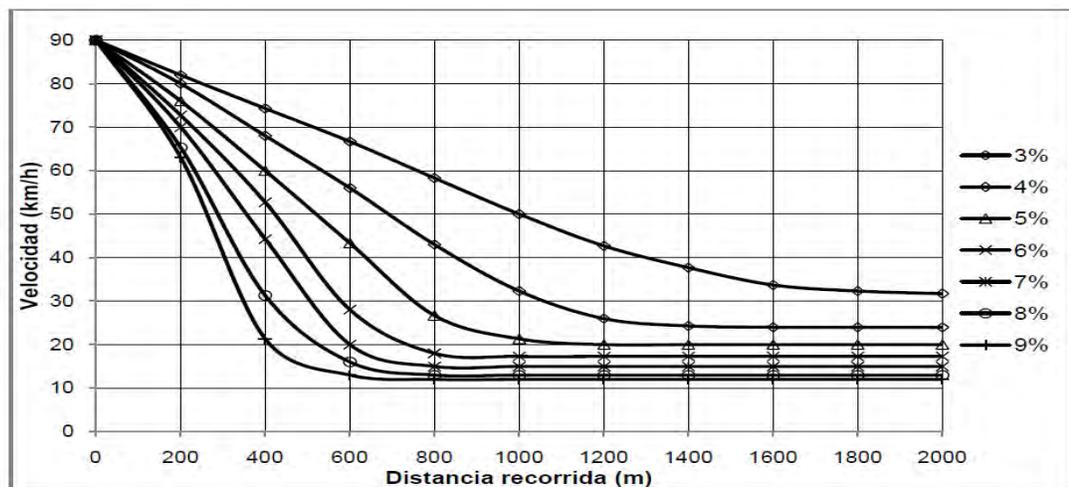
Tomando como base la tabla 110, tenemos: para  $V_{TR}$  de 60 km/h, las velocidades de curvas verticales asociadas ( $V_{CV}$ ) son igualmente de 60 km/h y teniendo en cuenta la categoría de la carretera como principal de una calzada, la pendiente máxima es del 8% valor que se toma como referencia de estudio y análisis.

Sin embargo los valores de referencia obtenidos como valores máximo y mínimo de pendiente son similares a los obtenidos considerando la vía como secundaria para Manual Diseño Geométrico de Carreteras año 2008.

### Longitud máxima

A continuación, se indica el proceso de análisis para el parámetro en estudio:

“Figura 4. Efecto de las pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 180 kg/HP”<sup>58</sup>



<sup>58</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, p. 131

Tabla 2-55. Análisis Longitud Crítica  $V_{TR} = 60$  km/h

Entretangencia vertical No.	Pte existente (%)	L existente (m)	Longitud Crítica de Pendiente (m)	Chequeo L existente $\leq$ Lc
1	-1.350	11.67	>1200	OK
2	8.420	75.52	210	OK
3	-0.090	5.79	>1200	OK
4	6.840	11.72	280	OK
5	-4.750	13.81	>1200	OK

El diseño geométrico en perfil de la carretera el Encano – Santiago con un total de 324 entretangencias verticales para  $V_{TR} = 60$  Km/h, 0 (0.00%) presentan longitud superior a la crítica de pendiente, determinándose que el diseño es adecuado respecto a este parámetro de acuerdo a especificaciones expedidas por el INVIAS.

**2.5.4 Sección transversal. Ancho de zona o derecho de vía.** El análisis, es equivalente al ya efectuado mediante el Manual INV – 98, esto debido a que el sustento teórico no presenta variación respecto al manual empleado en el actual estudio y análisis, sin embargo, como se enuncio no es posible analizar este parámetro, debido a que la información del ancho de zona o derecho de vía no está registrada en los planos de esta carretera. Más sin embargo, se sabe que el ancho de vía corresponde a 15m desde su eje, aunque en sectores donde existen casas junto a la carretera no se cuenta con dicho ancho.

#### Pendiente transversal en entretangencias horizontales

En la Tabla 2-56 se presentan los valores correspondientes.

Tabla 2-56. Bombeo de la calzada<sup>59</sup>

Tipo de Superficie de rodadura	Bombeo (%)
Superficie en concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2-3
Superficie de tierra o grava	2-4

Basándose de manera general en los datos de la tabla presentada anteriormente, se puede decir que es adecuado tomar un valor mínimo de bombeo igual al 2% (valor muy frecuente en proyectos de diseño geométrico); y comparando con los diagramas de transición de peraltado para el tramo que lo presenta (PR36+469.87 a PR 40 + 477.07), se puede decir que el presente parámetro es totalmente adecuado (Se cumple en un 100%).

<sup>59</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, p 151

### 3 CONCLUSIONES

#### TIPO DE CARRETERA: SECUNDARIA

- Con base en el análisis efectuado bajo el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se define que existe congruencia respecto a velocidades empleadas por INESCO SA y la normatividad, ya que como velocidad de diseño se empleo un valor de 30 km/h, la cual resulta similar a la determinada tomando como base el tipo de terreno y categoría de la vía como secundaria.
- Respecto al análisis efectuado con base al Manual para el Diseño Geométrico de Carretera INV – 98 el parámetro distancia de visibilidad de parada es adecuado con un bajo porcentaje (1.23%) de curvas no cumplen.
- Respecto al parámetro distancia de adelantamiento cuyo análisis se efectuó con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 el diseño es inadecuado, debido a que para una velocidad de 30 km/h la carretera no presenta longitud mínima para efectuar este tipo de maniobras y por lo tanto no satisface las necesidades del usuario.
- Para el análisis del parámetro distancia de visibilidad de parada en curvas horizontales se determinó que con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 este es inadecuado presentándose un total de 74 curvas horizontales (14.65%) que no cumplen con este parámetro.
- Efectuado el análisis del parámetro radios mínimos para curvas horizontales se determinó que con base al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 este parámetro es Inadecuado presentándose un total de 194 curvas (de 505) que representan el 38.42%, cuyo radio es inferior a 30 m y por lo tanto no cumplen con el mismo.
- El parámetro sobreebanco en curvas horizontales, se presenta como un criterio crítico debido a la alta cantidad de elementos que no cumplen. Presentando un incumplimiento del 100%, por lo cual se cataloga como un parámetro totalmente Inadecuado aplicado en el diseño, con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98.
- Respecto al parámetro longitud del arco circular en curvas horizontales con empalme tipo circular, se determinó que estas corresponden en cantidad equivalente a las que no cumplen con el parámetro de radio mínimo, y al igual que este es un parámetro inadecuado debido al alto porcentaje (38.42%) de curvas no cumple.

- Con base en el análisis efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV -98 se determinó que para el parámetro longitud circular mínima de curvas E – C – E el parámetro es inadecuado con un total de 4 curvas que no lo cumplen correspondiente al 66.67%.
- Una vez efectuado el análisis del parámetro longitud de espiral máxima y mínima con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se determina que este parámetro es inadecuado, presentándose un porcentaje de incumplimiento del 66.67% de curvas horizontales con empalme espiralizado disponen de longitud de sus ramales fuera de los límites establecidos.
- Para el parámetro peralte en curvas horizontales analizado con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se determina que este es Inadecuado con un total de 11 curvas no cumplen, que representan el 28.11% del total de curvas analizadas.
- El criterio de longitud de transición en curvas horizontales, se constituye en un parámetro crítico, debido al alto porcentaje de curvas no cumplen (97.87%) por lo cual se lo determina como totalmente inadecuado para el diseño actual.
- Con base en el análisis efectuado para el parámetro rampa de peralte mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV- 98 se determina que este es inadecuado presentándose no cumplimiento en 9 de las 48 curvas en estudio, presentándose en adelante problemas de volcamiento o deslizamiento al transitar el usuario por la vía.

## **TIPO DE CARRETERA: PRINCIPAL DE UNA CALZADA**

- Con base en el análisis efectuado bajo el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se define que existente marcada diferencia respecto a la velocidad de diseño, por lo cual, este control no se ajusta adecuadamente respecto al sustento teórico presentado por el Manual.
- Respecto al análisis efectuado con base al Manual para el Diseño Geométrico de Carretera INV – 98 el parámetro distancia de Visibilidad de es inadecuado con un porcentaje de 69.75% de curvas no cumplen, obteniéndose que la vía diseñada no presenta alineamientos para efectuar obras de parada ante eventos inesperados.
- Respecto al parámetro distancia de adelantamiento cuyo análisis se efectuó con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 el diseño es inadecuado, debido a que para una velocidad de 60 km/h la carretera no presenta una longitud mínima para efectuar este tipo de maniobras y por lo tanto no satisface las necesidades del usuario.
- Una vez efectuado el análisis del parámetro Radios Mínimos para curvas Horizontales se determinó que con base al Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 este parámetro es Inadecuado presentándose un total de 475 curvas (de 505 curvas analizadas), cuyo radio es inferior a 120 m y por lo tanto no cumplen con el mismo.
- El parámetro sobreechancho en curvas horizontales, se presenta como un criterio crítico debido a la alta cantidad de elementos que no cumplen con este parámetro, siendo este del 100%, por lo cual se cataloga como un parámetro totalmente Inadecuado aplicado en el diseño, con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98.
- Respecto al parámetro longitud del arco circular en curvas horizontales con empalme tipo circular, se determinó que estas corresponden en cantidad equivalente a las que no cumplen con el parámetro de radio mínimo, y al igual que éste es un parámetro inadecuado debido al alto porcentaje (94.26%) de curvas no cumple.
- Con base en el análisis efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV -98 se determinó que para el parámetro longitud circular mínima de curvas E – C – E el parámetro es inadecuado con un total de 5 curvas que no lo cumplen, de 6 curvas analizadas.
- Una vez efectuado el análisis del parámetro longitud de espiral máxima y mínima con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV –

98 se determina que este parámetro es inadecuado, porque el 100% de las curvas horizontales con empalme espiralizado disponen de longitud de sus ramales fuera de los límites establecidos.

- Para el parámetro Peralte en curvas horizontales analizado con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se determina que este es inadecuado con un porcentaje de no cumplimiento del 66.67% del total de curvas analizadas.
- El criterio de longitud de transición en curvas horizontales, se constituyó en un parámetro crítico, debido al alto porcentaje de incumplimiento (97.87%); por lo cual se lo determinó como totalmente Inadecuado para el diseño actual.
- Con base en el análisis efectuado para el parámetro rampa de Peralte mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV- 98 se determinó que el diseño es inadecuado con porcentaje de no cumplimiento del 87.50%.
- De 501 entretangencias analizadas, 7 cumplen con el parámetro longitud de entretangencia, por lo cual se define como un elemento crítico de diseño, respecto al análisis efectuado mediante el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98.
- Respecto al análisis de pendientes efectuado con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98, se determinó que este es inadecuado, con un porcentaje de incumplimiento del 15.93% para pendientes inferiores al 0.5% y del 21.91% para pendientes mayores al 8%.
- Respecto al parámetro longitud mínima de curvas verticales con base en el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se determinó que este criterio es inadecuado con un porcentaje de 97.86% de curvas no cumple.
- Para el ancho de calzada con base en el fundamento teórico expuesto por el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras INV – 98 se define que este es totalmente adecuado, superando para todo el tramo en estudio, el valor mínimo exigido por las condiciones bajo las cuales se desarrolla el diseño de la vía.

#### 4 RECOMENDACIONES

- Efectuar un estudio exhaustivo y proveer adecuadas distancias de adelantamiento, debido a que presentan porcentajes altos de elementos que no cumplen con este parámetro, con lo cual, se puede convertir en un factor de accidentabilidad severo al transitar por la vía.
- Revisar el parámetro de radios mínimos absolutos, ya que no se cumple en un porcentaje considerable para el sector en estudio, debido a la importancia que tiene este, respecto a la accidentabilidad, siendo estos sectores de la vía los más críticos al ser transitados por el usuario.
- Corregir el sobreebanco de calzada, teniendo en cuenta que es uno de los parámetros que brinda margen de seguridad al usuario al transitar por la vía, sin embargo, para el sector en estudio no se cumple en la totalidad del tramo analizado, siendo un factor crítico.
- Efectuar corrección para brindar una vía en mejores condiciones porque la transición de peralte en curva se puede constituir en un factor directo a nivel técnico de la accidentabilidad cuando el usuario transite por la vía, presentándose peligro por deslizamiento o volcamiento.
- Efectuar modificaciones donde no se cumple adecuadamente con longitudes de entretangencia, porque se limita la capacidad y el nivel de la vía puesto que el usuario al transitar por la carretera adopta patrones de comportamiento según las condiciones que se le presenten.
- Construir un tercer carril para que sobre este circulen los vehículos de carga pesada (carril para tránsito lento), en sectores donde se presente longitudes críticas de pendiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008

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

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

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

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

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. 2ª ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. Apuntes de Diseño Geométrico de Vías. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1990.

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

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

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

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

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para presentación de trabajo. Bogotá: ICONTEC, 2010.