

PRÁCTICA EMPRESARIAL
“DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS MEDIADO POR TIC
(TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN)”

LILIANA MARÍA CONTRERAS ORTIZ
OMAR BRILLA DÍAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009

PRÁCTICA EMPRESARIAL

**“DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS MEDIADO POR TIC
(TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN)”**

**LILIANA MARÍA CONTRERAS ORTIZ
OMAR BRILLA DIAZ**

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

**DIRECTOR DEL PROYECTO
JORGE HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

*A Dios por sus Bendiciones,
y llenarme de paciencia y fortaleza a lo largo de mi carrera.*

*A mi mamá por su amor sus palabras de aliento
y por ser un ejemplo de tenacidad y responsabilidad
Gracias mamita, porque juntas salimos adelante
y ahora me toca a mí...Te Quiero Mucho.*

*A mis tías: Vilma, Mariela y Virginia por su cariño de mamá;
a mis primas: Yolanda, Paola y Karín por su apoyo;
y a la inocencia y alegría de Ana Sofía, María Camila y Paula Alejandra.*

*A mis amigos que me han acompañado durante toda mi vida:
Diana, Yudy Viviana, Laura, Yudy Andrea, Sergio
y los que llegaron poco a poco...
Porque nuestra amistad perdure por siempre.*

*A mis amigos de la UJS, a los verdaderos,
por estos años de conocimiento, traspasos, compañía y rumba...
Porque todavía nos falta mucho por aprender.*

*A mis profesores por formarme como Ingeniera,
especialmente a los Profesores Jorge Gómez y Ricardo Cruz
por su cariño y confianza.*

Y a Gustavo Andrés por su paciencia y por creer en mí. T.Q.M.

Liliana María

*A Dios y a la virgencita,
por sus bendiciones y por darme la fuerza, la paciencia
y el temple para sobrepasar las situaciones difíciles.*

*A mi Papi, por ser el mejor del mundo,
por enseñarme luchar por lo que quiero.
Gracias Papi, por hacerme ver la vida con una sonrisa, pero con respeto.
.....Sencillamente lo adoro.*

*A mi mami, por ser mi ojos,
por soportar sobre sus hombros el peso de las dificultades
y no desfallecer.
Gracias mami, por querer lo mejor para mí y
desear verme muy alto.....con ayuda de Dios así va a ser..... La amo.*

*A mi hermano, por su compañía a lo largo
de este camino y porque
los vientos venideros sean favorables en nuestra vida.*

*A mis amigos, a los que estuvieron ahí cuando los necesité;
Diego, Álvaro y el godi... Gracias por ser unos amigos.*

*Y a ti... por apoyarme y entenderme
Graciassencillamente.... Te amo....C30.*

Omar Brilla Díaz

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director, Ingeniero Jorge Hernando Gómez Gómez, por su orientación, compañía y confianza en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros profesores por transmitirnos sus conocimientos y acompañarnos a lo largo de nuestra carrera.

A la Escuela de Ingeniería Civil por su formación académica y moral.

Y a la Universidad Industrial de Santander por acogernos desde el principio y darnos la oportunidad de formar parte de esta gran familia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN FLASH	2
GENERALIDADES	3
Clasificación de las carreteras	3
Según su funcionalidad	3
Según el tipo de terreno	4
Planeación y ejecución del proyecto de una carretera	6
Proyecto de carreteras nuevas	6
Actividades principales para la realización del proyecto	7
Condiciones de diseño de una carretera	22
Características geométricas y condiciones de diseño	22
CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO	31
Velocidad de Diseño	31
Velocidad de Diseño del Tramo Homogéneo	31
Velocidad Específica	32
Velocidad específica de la curva horizontal (VCH)	33
Velocidad de la entretangencia horizontal (VETH).....	37
Velocidad específica de la curva vertical (VCV).....	38
Velocidad específica de la tangente vertical (VTV).....	38
Distancias de Visibilidad	38
Distancia de visibilidad de parada (Dp)	38
Distancia de visibilidad de adelantamiento (Da).....	41
Distancia de visibilidad de cruce (Dc).....	45
DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA	49
Curvas Horizontales	49
Curvas Circulares Simples	49

Curvas Compuestas.....	53
Curvas en Espiral.....	62
Estabilidad en la marcha.....	76
Peralte.....	80
Para carreteras Primarias y Secundarias.....	80
Para carreteras Terciarias.....	80
Fricción transversal máxima	81
Radio de curvatura mínimo.....	81
Transición del peralte.....	82
Rampa de peralte.....	83
Longitud de transición	85
Métodos para realizar la transición del peralte.....	90
Longitud de la curva espiral	94
Longitud mínima.....	94
Longitud máxima.....	96
Entretangencia horizontal.....	97
Entretangencia mínima	97
Entretangencia máxima.....	97
Longitud mínima de la curva circular	98
DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA	99
Tangente vertical	99
Pendiente mínima	99
Pendiente máxima.....	100
Longitud mínima.....	102
Longitud máxima.....	103
Curvas Verticales.....	105
Tipos de curvas verticales.....	106
Descripción y cálculo de los elementos geométricos	107
Determinación de la longitud de la curva vertical	110
Distancia de visibilidad bajo estructuras.....	118

DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA	119
Elementos geométricos de la sección transversal.....	119
Ancho de zona o derecho de vía.....	119
Corona	119
Calzada.....	120
Bermas.....	122
Sobreechanco en las curvas	123
Vehículos rígidos.....	124
Vehículos articulados	129
Transición del sobreechanco	131
Valor de la flecha (M) para proveer la distancia de visibilidad de parada en una curva.....	134
Cunetas	135
Cunetas revestidas en concreto.....	135
Cunetas sin revestir (cunetas en tierra).....	136
Taludes	136
Carriles especiales de ascenso.....	136
Andenes y senderos peatonales	137
Separadores de calzada.....	138
Separador lateral.....	138
Separador central o mediana	138
Secciones transversales típicas.....	139
Chaflanes	139
Línea de chaflanes	140
Ceros.....	140
Cota de trabajo.....	141
Posición de los chaflanes.....	143
CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO	145
Criterios generales para garantizar la adecuada interacción del diseño en planta, en perfil y en sección transversal.....	146

Combinaciones indeseables	146
Combinaciones recomendadas	149
Criterios generales para garantizar la adecuada interacción de la carretera con sus intersecciones y demás elementos y estructuras complementarias	153
Puentes e intersecciones	153
Elementos de drenaje	156
Iluminación	158
Redes de servicios	159
Criterios y recomendaciones para lograr un diseño estético y armonioso con el paisaje	160
Corredor de ruta	161
Alineamiento horizontal	161
Alineamiento vertical	162
Sección transversal	162
Intersecciones y estructuras complementarias	163
DIAGRAMA DE MASAS	167
Propiedades del diagrama de masas	168
Limitaciones del diagrama de masas.....	169
Compensación de volúmenes.....	169
Criterios para el trazado de compensadoras	172
Generalización	172
Cantidad de transporte y análisis de distancias de acarreo.....	173
Medida de transporte y distancia media de acarreo.....	175
Método gráfico para la distancia media de transporte.....	176
Análisis de sobreacarreos en el diagrama de masas.....	177
Perfil de cantidades como auxiliar del diagrama de masas	179
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	180
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nivel de servicio clase A	23
Figura 2. Nivel de servicio clase B	24
Figura 3. Nivel de servicio clase C	25
Figura 4. Nivel de servicio clase D	26
Figura 5. Nivel de servicio clase E	27
Figura 6. Nivel de servicio clase F	28
Figura 7. Distancia de Visibilidad de adelantamiento.....	40
Figura 8. Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad.	44
Figura 9. Elementos geométricos de una curva circular simple	48
Figura 10. Curva circular compuesta de dos radios	52
Figura 11. Curva compuesta de tres radios	55
Figura 12. Configuraciones de radios	57
Figura 13. Elementos de la Espiral Clotoide	64
Figura 14. Elementos de la Espiral – Curva - Espiral	66
Figura 15. Elementos de la Espiral – Curva – Espiral asimétrica	69
Figura 16. Elementos de la curva Espiral - Espiral	72
Figura 17. Elementos de la curva en “S”	73
Figura 18. Efecto de la inclinación transversal de la calzada circulando en curva.	75
Figura 19. Caso 2. $W_p=F_p$	76
Figura 20. Caso 2. $W_p<F_p$	77
Figura 21. Caso 2. $W_p>F_p$	78
Figura 22. Desarrollo del peralte.....	83
Figura 23. Disposición de los carriles que giran con respecto a su eje de rotación.	83

Figura 24. Diagrama de transición de peralte en curva circular	86
Figura 25. Diagrama de transición de peralte en la espiral de una curva	87
Figura 26. Calzada girada alrededor del eje	88
Figura 27. Calzada girada alrededor del borde interior.....	89
Figura 28. Calzada girada alrededor del borde exterior	89
Figura 29. Rotación en el eje de la calzada	90
Figura 30. Método A del desarrollo de peralte	91
Figura 31. Método B del desarrollo de peralte	91
Figura 32. Método C del desarrollo de peralte	92
Figura 33. Efecto de pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 150 Kg/HP	102
Figura 34. Efecto de pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 180 Kg/HP	102
Figura 35. Curvas Verticales Convexas	104
Figura 36. Curvas Verticales Cóncavas	104
Figura 37. Curvas Verticales Simétricas	105
Figura 38. Elementos de una Curva Vertical Simétrica	105
Figura 39. Elementos de la curva Vertical asimétrica	107
Figura 40. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva Vertical convexa según el criterio de seguridad	110
Figura 41. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva Vertical cóncava según el criterio de seguridad	115
Figura 42. Distancia de visibilidad bajo estructuras	117
Figura 43. Bombeo en carreteras de dos calzadas	121
Figura 44. Sobreancho en curva.....	125
Figura 45. Sección transversal de la carretera	126
Figura 46. Sobreancho de la curva para un carril en carreteras Terciarias	128
Figura 47. Dimensiones para el cálculo del sobreancho requerido por el vehículo articulado representativo del parque automotor Colombiano	129

Figura 48. Transición del sobreancho en las curvas	132
Figura 49. Sobreancho requerido para una curva al ser recorrido por un vehículo articulado de categoría 3S2	133
Figura 50. Elementos que intervienen en la determinación de la Flecha (M)	135
Figura 51. Sección transversal de una vía con andenes	138
Figura 52. Secciones transversales generales	139
Figura 53. Línea de Chaflanes	140
Figura 54. Ceros	141
Figura 55. Posición de los Chaflanes y los Ceros.....	141
Figura 56. Curvas verticales cóncavas de poca longitud	147
Figura 57. Curvas verticales sucesivas.....	147
Figura 58. Reemplazo de tramos rectos cortos por curvas verticales de gran parámetro	148
Figura 59. Transición de la geometría en sitios con radios cercanos o iguales al mínimo	150
Figura 60. Uso de las curvas cóncavas acorde con las pendientes adyacentes..	151
Figura 61. Curva vertical convexa de mayor longitud que las curvas verticales adyacentes	152
Figura 62. Curvas verticales cóncavas de mayor longitud que la convexa central	152
Figura 63. Localización recomendada de sitios de intersección	154
Figura 64. Efecto producido por una bifurcación.....	154
Figura 65. Situaciones indeseables por la ubicación errónea de un puente	155
Figura 66. Reducción aparente del ancho de la calzada	156
Figura 67. Transiciones recomendadas en el ancho del separador central.....	164
Figura 68. Cartera de Masas	167

Figura 69. Diagrama de Bruckner	168
Figura 70. Tanteo de líneas compensadoras.....	171
Figura 71. Modificación de la Curva de Masas	173
Figura 72. Utilización de varios modos de transporte	178
Figura 73. Utilización de varios modos de transporte	179

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad de diseño de un tramo homogéneo V_{TR} en Km/h	30
Tabla 2. Velocidad Específica de una curva horizontal (VCH) incluida en un tramo homogéneo con Velocidad de diseño V_{TR}	33
Tabla 3. Diferencia entre la Velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en Km/h.	34
Tabla 4. Distancia de visibilidad de parada en tramos con pendiente = 0%	38
Tabla 5. Distancias de visibilidad de parada en tramo con pendiente.	39
Tabla 6. Mínima distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos.	43
Tabla 7. Ejemplo de cartera de localización de una curva circular simple.	49
Tabla 8. Ejemplo de cartera de localización de una curva compuesta.	53
Tabla 9. Ejemplo de cartera de localización de una curva espiral.	67
Tabla 10. Coeficiente de fricción transversal máxima.	79
Tabla 11. Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x} = 8\%$ y fricción máxima	80
Tabla 12. Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x} = 6\%$ y fricción máxima	80
Tabla 13. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes.	84
Tabla 14. Factor de ajuste para el número de carriles girados	85
Tabla 15. Variación de la aceleración centrífuga (J)	93
Tabla 16. Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos	96
Tabla 17. Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR})	99
Tabla 18. Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})	99
Tabla 19. Longitud mínima de la tangente vertical	100

Tabla 20. Valores de K_{\min} para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes (m)	113
Tabla 21. Ancho de zona (m).....	119
Tabla 22. Ancho de calzada (m)	120
Tabla 23. Bombeo.....	121
Tabla 24. Ancho de Berma	123
Tabla 25. Dimensiones para el cálculo del sobrecancho en los vehículos tipo rígido	124
Tabla 26. Valor de C en función del ancho de la calzada.	130
Tabla 27. Criterio para el establecimiento de un carril de ascenso en carreteras	137
Tabla 28. Distancia de visibilidad según la velocidad específica del elemento geométrico que se recorre	149
Tabla 29. Equipos utilizados en el transporte	130

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS apoyado POR TIC
(TÉCNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN)*

AUTORES:

CONTRERAS ORTIZ, Liliana María

BRILLA DÍAZ, Omar**

PALABRAS CLAVES:

Tecnologías, Macromedia Flash, diseño en planta, perfil, sección transversal, diagrama de masas.

DESCRIPCIÓN

El uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación basadas en la presentación de información a través de audio o video, permitió crear a través de Macromedia Flash “Diseño Geométrico de Vías Mediado por TIC”, el cual ensambla toda la información básica propia de la asignatura Diseño Vial actualizado con las normas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS para implementar un nuevo método de enseñanza.

En el CD adjunto se encuentra la presentación con cada una de las etapas del diseño de una carretera: Generalidades, Controles para el diseño, Diseño en planta, Diseño en perfil, Diseño de la sección transversal, Consistencia del diseño y Diagrama de masas. Además, el estudiante podrá consultar este material a través de la red y así recordar lo visto en clase.

Se recomienda mejorar esta versión una vez se presenten cambios en las normas INVIAS.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.
Director: Ingeniero Jorge Hernando Gómez Gómez.

SUMMARY / ABSTRACT

TITLE: GEOMETRIC DESIGN OF ROUTES SUPPORTED WITH TIC
(INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES)

AUTHORS:

CONTRERAS ORTIZ, Liliana María

BRILLA DÍAZ, Omar**

KEY WORDS:

Technologies, macromedia flash, design in plant, profile, transverse section, masses diagram.

DESCRIPTION

The use of Information and Communication Technologies supported on presentation of information through audio or video, allowed to create in Macromedia Flash "Geometric Design of routes supported with TIC", which contains all the basic information of the Road Design subject updated with the code of the Routes Geometric Design by the National Routes Institute INVIAS Manual to apply a new education method.

The attached CD contents the presentation with each stage of the design of a highway: General Information, Controls for the design, Design in plant, Design in side view, Design of the transverse section, Consistency of the design and masses Diagram. Also the student will be able to consult this material through the network and remember the topic of the class.

It is recommended to update and improve this version once the INVIAS code is modified.

* Degree Project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering.
Director: Engineer Jorge Hernando Gómez Gómez.

INTRODUCCIÓN

Los avances en la Ingeniería y la educación que diariamente enfrentan las personas, es tal vez la principal razón por la que día a día los profesionales y estudiantes se capacitan, aprenden y aceptan nuevos retos tecnológicos necesarios para dejar atrás métodos de enseñanza, aprendizaje y comunicación no acordes con la evolución técnica y profesional.

Al conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, registro y presentación de informaciones contenidas en señales ópticas o acústicas, se denominan Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las cuales se han convertido quizás en una de las herramientas informáticas con mayor efectividad en la transmisión de ideas y conocimientos, ya que por medio de animaciones o videos se logra ver, analizar y comprender temas que por su complejidad requieren algo más que un dibujo o un texto.

“Diseño Geométrico de Vías mediado por TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)”, ha sido creado como herramienta de apoyo para la enseñanza de la asignatura Diseño Vial donde se plasma de manera dinámica a través de Macromedia Flash, las diferentes etapas del diseño de una carretera con el fin de contribuir al aprendizaje de los estudiantes y hacer de la Ingeniería de Vías la más comprendida y acogida por los estudiantes de Ingeniería Civil.

DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DESARROLLADA EN FLASH

En el CD adjunto se encuentra la herramienta “Diseño Geométrico de Vías mediado por TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) desarrollada en las siguientes etapas:

1. Recopilamos y seleccionamos la información de cada uno de los temas a desarrollar.
2. Dentro de los diferentes programas que existen para realizar este tipo de trabajo, escogimos Macromedia Flash para el montaje de los contenidos por ser práctico para hacer animaciones y plasmar texto e imágenes.
3. Realizamos el diseño de nuestra herramienta de la siguiente forma:
 - El “Intro” o página de inicio, donde se muestra el título el proyecto, los diferentes capítulos y los autores y el director del mismo.
 - Al hacer “click” en los diferentes capítulos se despliega la ventana con el contenido de éste. Las imágenes que fueron animadas o a las que se les hizo un “zoom” para apreciarlas mejor, tienen dentro de ellas un botón circular verde con la nomenclatura estándar de “Iniciar animación”. En la parte superior se encuentra el nombre del capítulo, una foto que varía de acuerdo a éste y que se desplaza en intervalos de tiempo y un botón rectangular de “MENÚ” en la parte superior izquierda con acceso a los diferentes temas así como también al capítulo anterior y al siguiente.
4. Los archivos se trabajaron para que sea posible hacerle modificaciones durante su desarrollo en el programa. Una vez terminados se convierte el archivo a **.exe** que corresponde al ejecutable que finalmente será utilizado como herramienta para el desarrollo de las clases de Diseño Vial y estará a disposición de los estudiantes en la red.

1. GENERALIDADES

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.¹

El diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional, con el propósito de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente. La vía será funcional de acuerdo con su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito; segura a través de un diseño simple y uniforme; cómoda en la medida en que se disminuyan las aceleraciones de los vehículos y sus variaciones; estética al adaptarla al paisaje; económica cuando ofrece el menor costo posible en construcción y mantenimiento cumpliendo con todas las exigencias y compatible con el medio ambiente adaptándola en lo posible a la topografía natural y minimizando los impactos ambientales.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS²

1.1.1 Según su funcionalidad.

- **Primarias.** Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que integran las principales zonas de producción y consumo del país. Deben funcionar pavimentadas.

¹ CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá D.C. 2005. p. 1.

² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 4.

- **Secundarias.**

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria. Estas carreteras pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

- **Terciarias.**

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

1.1.2 Según el tipo de terreno.

La pendiente longitudinal y transversal del terreno son las inclinaciones naturales del terreno, medidas en sentido longitudinal y transversal de la vía. En Colombia los terrenos se clasifican en plano, ondulado, montañoso y escarpado.

- **Terreno plano.**

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los livianos.

Las pendientes transversales al eje de la vía son menores de 5 grados y las pendientes longitudinales normalmente menores de 3%.

Las carreteras construidas en este tipo de terreno requieren mínimo movimiento de tierras por lo que no representa dificultades en su trazado ni en su explanación.

- **Terreno ondulado.**

Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de la

de los vehículos livianos, sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por un intervalo de tiempo largo.

Las pendientes transversales al eje de la vía están entre 6 y 13 grados y las pendientes longitudinales entre 3% y 6%.

Las carreteras construidas en este tipo de terreno requieren moderado movimiento de tierras que permite alineamientos más o menos rectos sin mayores dificultades en el trazado y explanación.

- **Terreno montañoso.**

Este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes.

Las pendientes transversales al eje de la vía están entre 13 y 40 grados y las pendientes longitudinales entre 6% y 8%.

Generalmente requiere grandes movimientos de tierra presentando dificultades en el trazado y en la explanación.

- **Terreno escarpado.**

Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos a operar a bajas velocidades sostenidas en pendiente en comparación con las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes.

Las pendientes transversales al eje de la vía son generalmente superiores a 40 grados y sus pendientes longitudinales superiores a 8%.

Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción con muchas dificultades en el trazado y explanación debido a que los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas en el recorrido de una vía.

1.2 PLANEACION Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE UNA CARRETERA

1.2.1 Proyecto de carreteras nuevas.³

La construcción de una nueva carretera Primaria obedece a la necesidad de complementar la malla vial existente para obtener ahorro en el costo de transporte. El diseño de una carretera Primaria nueva se realiza por fases en las que se tiene la posibilidad de evaluar progresivamente la viabilidad económica del proyecto. Las fases para el desarrollo de este tipo de proyectos son:

- **Fase 1: Pre-factibilidad**

Consiste en establecer si el proyecto ofrece posibilidades de ser viable económicamente, es decir, si supera umbrales preestablecidos para indicadores como la relación Beneficio/Costo o la Tasa Interna de Retorno.

El objetivo es trazar varios corredores de ruta de los cuales se elige el que presente mayor rentabilidad.

- **Fase 2: Factibilidad**

Una vez seleccionado el corredor de ruta se realiza el diseño en planta del eje de la vía. La posición de éste deberá estar de acuerdo con los requerimientos en planta, perfil y secciones transversales así como de las obras complementarias que se requieran.

Dependiendo de su rentabilidad se toma la decisión de continuar o no con el desarrollo del proyecto. Si se decide continuar, se hace la evaluación económica final generalmente mediante la simulación con el modelo HDM-4 con mayor grado de confiabilidad que la hecha en la fase 1 debido a que se cuenta con elementos suficientes para elaborar el presupuesto y cuantificar los costos de la operación vehicular.

³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 7.

- **Fase 3: Diseños definitivos**

Es esta fase se elaborarán los diseños detallados tanto geométricos como de cada una de las estructuras y obras complementarias requeridas.

En el caso de las carreteras secundarias es poco frecuente que se construyan vías que funcionen con dichas características. Por lo general éstas carreteras son el resultado del mejoramiento continuo que en el transcurso de los años se realiza a carreteras que originalmente fueron Terciarias.

La construcción de una carretera Terciaria nueva se desarrolla en una sola fase que resume las tres etapas de una carretera Primaria. El método de diseño por Localización Directa solo se recomienda cuando el trazado sea en terreno plano

1.2.2 Actividades principales para la realización del proyecto.

- **Carreteras Primarias.**

- **Actividades de la Fase 1. Pre-factibilidad.**⁴

- a. **Adquisición de la cartografía existente de la zona del proyecto.**

- Mapas topográficos y geológicos en escalas reducidas.
- Fotografías aéreas. Generalmente a escala 1:50.000 o 1:40.000.
- Restituciones aerofotogramétricas a escala 1:10.000 con curvas de nivel cada 25 metros o menos si es posible.
- Imágenes de satélite u otro sistema de información geográfica.

⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 7.

b. Estudio de tránsito.

Este estudio se debe hacer para un período de 20 años a partir del año de inicio de operación de la carretera. El estudio del tránsito debe indicar el Volumen Horario de Demanda (VHD) en el año 20 y su composición vehicular.

c. Identificación, con base en la información cartográfica de los posibles corredores de ruta.

La estabilidad geológica, la pendiente transversal del terreno (clasificándolo en plano, ondulado, montañoso o escarpado), la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, el número de cauces mayores, opciones de sitios de cruce de líneas divisorias de aguas y ponederos, posibilidad de fuentes de materiales y zonas de vida o ecosistemas son los parámetros mínimos a considerar.

Puede suceder que por las características topográficas de la zona no sea evidente el desarrollo de algún corredor que se desea analizar. Para ayudar a delimitarlo se deben establecer, sobre restituciones, los puntos secundarios de control y entre ellos trazar una línea de ceros provisional. Para ello se puede asumir la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) asociada a la Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) que se considere apropiada para ese tipo de terreno.

d. Reconocimiento aéreo.

El reconocimiento aéreo se hace solo si el proyecto lo amerita. Permiten ratificar o descartar la viabilidad de corredores de ruta propuestos.

Los pasos que se describen a continuación deben ser realizados para cada uno de los corredores de ruta propuestos.

e. Identificación, sobre las restituciones 1:10.000, de tramos homogéneos desde el punto de vista de la velocidad de diseño.

El principal criterio es la homogeneidad en el tipo de terreno. Las fronteras entre tramos son puntos secundarios de control adicionales.

f. Asignación de la Velocidad de Diseño preliminar a cada tramo homogéneo.

A cada uno de los tramos homogéneos identificados se le debe asignar una Velocidad de Diseño preliminar conforme a los criterios establecidos en el control del diseño geométrico.

g. Trazado de la línea de ceros sobre las restituciones 1:10.000.

La línea de ceros se debe trazar entre los puntos secundarios de control considerados como fronteras entre tramos homogéneos de acuerdo a la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en conjunto con la velocidad de diseño asignada a cada tramo homogéneo.

La pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en un Tramo Homogéneo debe ser menor que la pendiente máxima permitida para una tangente vertical incluida en dicho tramo homogéneo. En ningún caso la Pendiente Media Máxima puede ser superior a 7%.

h. Reconocimiento terrestre.

El reconocimiento terrestre se hace con el fin de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía.

Para rectificar que la línea de ceros es factible, se debe medir la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con base a la línea de ceros se debe calcular la Pendiente Media del corredor entre los puntos de control y constatar sobre el terreno si se supera o no la máxima permitida según la Velocidad de diseño asignada al tramo homogéneo.

i. Ajuste de los tramos considerados homogéneos y de las velocidades de diseño preliminares que les fueron asignadas.

De acuerdo al reconocimiento terrestre, si es necesario, se deben llevar a cabo las modificaciones necesarias como cambios en las Velocidades de Diseño, fronteras entre tramos homogéneos y/o el descarte total o parcial de un corredor de ruta.

j. Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio.

Una vez terminado el reconocimiento terrestre y realizados completamente los ajustes necesarios, se procede con el Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio. A cada uno de los tramos homogéneos identificados en el numeral anterior se les debe realizar el prediseño de un subtramo, mínimo de 1 kilómetro de longitud, que represente las condiciones típicas de éste. A cada subtramo se le evaluará su Capacidad y Nivel de Servicio siguiendo las pautas del Manual de Capacidad de Carreteras Colombiano el cual establecerá el Volumen de Tráfico Horario que hace que la velocidad de operación sea igual a la mínima permitida para que la carretera ofrezca a los usuarios el Nivel de Servicio D. Este volumen de tráfico debe ser mayor que el Volumen Horarios de Demanda (VHD) estimado para el año 20 y de su comparación se concluirá si la velocidad de diseño preliminar es adecuada o es necesario modificarla.

Cabe anotar que el Manual de Capacidad Colombiano no aplica para carreteras de una calzada pero que requieren de un tercer carril ni en carreteras de doble calzada entonces, en estos casos se puede utilizar cualquier otra herramienta que el diseñador considere apropiada, adoptando las debidas precauciones, especialmente en lo pertinente al porcentaje de camiones.

k. Asignación definitiva de la Velocidad de Diseño del Tramo (VTR)

La velocidad de Diseño del Tramo se adopta según los resultados del análisis de Capacidad y Nivel de Servicio donde se puede concluir que la velocidad de diseño asumida preliminarmente es compatible con el nivel de servicio D y adoptar la Velocidad de Diseño preliminar como definitiva.

Por el contrario, si la velocidad de diseño preliminar resulta muy baja o muy alta es necesario asignar una nueva velocidad y reiniciar el procedimiento.

l. Trazado de la línea de ceros en el terreno.

Después de definir las fronteras entre Tramos homogéneos y asignar su Velocidad de Diseño se traza la línea de ceros en el terreno con el propósito de verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo, sin superar la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PM_{máx}) asociada a la Velocidad de diseño adoptada (VTR).

m. Elaboración del croquis de la línea de ceros en el terreno.

El croquis debe ser elaborado a partir de datos topográficos levantados en el terreno con instrumentos que pueden no ser de precisión como la brújula, nivel Abney, cinta y jalones.

n. Estudio preliminar de impacto ambiental.

Para el desarrollo de esta actividad se debe atender a los procedimientos establecidos en la “Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura”, del Instituto Nacional de Vías.

o. Evaluación económica Preliminar.

La evaluación económica preliminar, que es uno de los propósitos fundamentales de la Fase 1, se debe realizar preferiblemente con el modelo

de simulación HDM-4⁵: Modelo de simulación del comportamiento del ciclo de vida de las carreteras considerando todas las relaciones entre ésta, el ambiente y el tráfico dentro de una economía nacional o regional que determina la composición y la estructura de costos de las variables. No es un modelo de optimización en el sentido de que no es capaz de encontrar la solución óptima absoluta del problema sino que realiza los cálculos correspondientes a cada alternativa y suministra los indicadores para que el usuario ordene las alternativas y posteriormente seleccione la que de acuerdo con su objetivo considere óptima.

p. Elaboración del Informe Final de Fase 1. Pre-factibilidad.

- **Actividades de la Fase 2. Factibilidad.**⁶

a. Reconocimiento terrestre de corredor de ruta.

Se debe hacer énfasis en la identificación de los puntos secundarios de control que son frontera entre Tramo Homogéneos de diseño.

b. Replanteo de la línea de ceros en el terreno.

Para ello se debe recurrir al croquis de la línea de ceros y a la cartera de campo que sirvió de base para su dibujo.

c. Levantamiento topográfico del corredor de ruta.

La primera actividad es el establecimiento de una poligonal cuyos vértices serán bases de topografía a partir de las cuales, mediante radiación, se toman las coordenadas de puntos del terreno. Otra alternativa es utilizar GPS para la realización de esta actividad siempre y cuando su precisión sea alta.

⁵ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cortes_p_ca/capitulo4.pdf

⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 13.

d. Estudio de la estratigrafía a lo largo del corredor de ruta.

El diseño en planta del eje de la carretera debe ser compatible con el diseño en perfil y de la sección transversal. Es por esto, que definir la posición del eje en planta sin conocer, al menos en forma aproximada, las características de los estratos involucrados en la explanación puede traer consecuencias durante la ejecución de los diseños definitivos.

e. Diseño definitivo del eje en planta, prediseño en perfil, prediseño de la sección transversal y definición de algunos aspectos requeridos para el diseño geométrico.

Inicialmente, se hace una primera alternativa del eje en planta para formular el prediseño en perfil y el prediseño de las secciones transversales donde es necesario tomar en cuenta algunos aspectos complementarios que se deben definir paralelamente al proceso de diseño geométrico y que condicionan sus decisiones. Estos aspectos son:

- Aspectos geotécnicos
 - Posibles requerimientos de estabilización de laderas.
 - Prediseño de los taludes.
 - Evaluación de la capacidad portante y la compresibilidad de los estratos que servirían como fundación de terraplenes y estructuras viales.
 - Localización de eventuales zonas de material de préstamo para terraplenes.
- Posibilidades de sitios de botadero
- Estudio de hidrología de hidráulica de cauces
 - Ubicación y prediseño de las alcantarillas.
 - Cota mínima de rasante en cada sitio de ponteadero.

- Prediseño de las intersecciones con otras carreteras.

Si después de hacer todo el procedimiento teniendo en cuenta cada uno de los aspectos anteriormente mencionados, resulta que la primera alternativa es susceptible a mejoras, se procede a hacer las modificaciones necesarias hasta que el diseño final corresponda al que mejor equilibrio presente entre todos los aspectos que se deben tener en cuenta en la construcción y operación de la eventual carretera.

Al eje definitivo en planta se le debe elaborar su Cartera de Localización, mediante coordenadas planas cartesianas.

f. Elaboración del Estudio Definitivo de Impacto Ambiental.

Se debe evaluar de forma definitiva el impacto ambiental que produciría la construcción y operación de la carretera. Si el impacto no es mitigable, el proyecto se debe descartar, al menos por el corredor de ruta en estudio.

Si el impacto es mitigable, se debe continuar con los siguientes pasos.

g. Elaboración preliminar de estudios y diseños complementarios.

Se deben elaborar, a nivel preliminar, los siguientes estudios y diseños:

- Estudio preliminar de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Prediseño para la solución de estabilización de laderas, si se requiere.
- Prediseño de los taludes y su protección.
- Prediseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio preliminar de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio preliminar de fuentes de materiales para concreto y pavimento.
- Prediseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.

- Prediseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos prediseños incluyen el estudio preliminar de fundaciones y el de una eventual socavación.
- Prediseño del pavimento.
- Prediseño de las intersecciones viales.
- Prediseño de obras especiales, como viaductos y túneles si se requieren.
- Prediseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Prediseño del amoblamiento vial.
- Prediseño de las obras de mitigación ambiental.

h. Elaboración del presupuesto preliminar.

El presupuesto preliminar debe incluir, como mínimo, los siguientes rubros:

- Adquisición de predios.
- Movimiento de tierras (Excavaciones, terraplenes y acarreos).
- Estabilización de laderas y taludes.
- Obras de drenaje menor.
- Estructuras.
- Intersecciones.
- Pavimento.
- Señalización y demarcación.
- Amoblamiento.
- Obras de mitigación ambiental.
- Interventoría de la construcción.

i. Evaluación económica definitiva.

La evaluación económica definitiva, que determina si se justifica construir ó no la carretera, realizada preferiblemente con el modelo de simulación HDM-4.

j. Elaboración del informe final de fase 2.

- Actividades de la Fase 3. Diseños definitivos⁷

a. Eventual mejoramiento del modelo del terreno en el ancho de zona.

Se hace si los ingenieros encargados del diseño geométrico consideran necesario mejorar la precisión del modelo. Para esto se puede proceder de dos maneras:

- Primera: Densificar la nube de puntos en el ancho de zona radiando desde las bases de topografía existentes a lo largo del corredor. La definición de este ancho de zona es en forma aproximada. Las coordenadas de los puntos adicionales se incorporan al modelo digital, con lo que se obtiene una mayor exactitud en la topografía.

- Segunda: Localizar el eje de la carretera radiando desde las bases de topografía existentes a lo largo del corredor utilizando las carteras elaboradas durante la Fase 2 del proyecto. Una vez localizado el eje en el terreno se procede a nivelarlo con nivel de precisión utilizando las bases de topografía existente como BM. Conocidas las cotas de las abscisas completas del eje y de sus puntos principales (TE, EC, CE, ET) se corrige la cota de esos puntos, con lo que se tienen incorporadas en el modelo digital las coordenadas exactas del eje de la vía. A partir de las abscisas del eje, convenientemente elegidas, se efectúan radiaciones tomando puntos en el ancho de zona con el espaciamiento entre ellos que se considere suficiente para obtener un modelo del terreno adecuado para los diseños a nivel de detalle.

⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 18.

b. Evaluación geotécnica a lo largo del eje de la carretera.

Aquí se define con exactitud el perfil estratigráfico y las características de los materiales por medio de sondeos y toma de muestras para ensayos de laboratorio.

c. Estudios previos al diseño del eje en perfil y de la sección transversal.

Se deben conocer mínimo los siguientes parámetros:

- Inclinación máxima de los taludes en función de su altura.
- Localización de botaderos.
- Localización de bancos de préstamo de materiales aptos para la construcción de terraplenes.
- Cota mínima de rasante en los emplazamientos de las obras de cruce de cauces como puentes y pontones.
- Espaciamiento máximo entre alcantarillas.
- Diseño de las cuentas.
- Espesor del pavimento.

d. Diseño definitivo del eje en perfil.

e. Diseño definitivo de las secciones transversales.

f. Análisis del movimiento de tierras.

El análisis del movimiento de tierra debe incluir:

- Determinación del volumen de excavación a lo largo del eje, discriminándolo en roca y material común.
- Determinación del volumen de terraplén.
- Determinación del volumen de excavación en bancos de préstamo para terraplenes.
- Programación de los acarreos.

g. Estudios y diseños complementarios definitivos.

Se deben elaborar los siguientes estudios y diseños:

- Estudio de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Diseño de la solución para la estabilización de laderas.
- Diseño de los taludes y su protección.
- Diseño del plan de manejo de botaderos.
- Estudio de bancos de préstamo para el material de terraplenes.
- Estudio de fuentes de materiales para concreto y pavimento.
- Diseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Diseño de pontones, puentes y muros de contención. Incluyen estudios de fundaciones y en el caso de puentes y pontones, el de una eventual socavación.
- Diseño del pavimento.
- Diseño de las intersecciones viales.
- Diseño de obras especiales como viaductos y túneles en caso que se requieran.
- Diseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Diseño del amoblamiento vial.
- Diseño de las obras de mitigación ambiental.

h. Elaboración del presupuesto definitivo.

Se deben calcular las cantidades de obra y conformar el precio unitario de cada uno de los ítems involucrados en el proyecto.

Es pertinente manifestar que en el presupuesto se debe tener en cuenta el costo de la interventoría de la construcción.

i. Elaboración de la documentación final.

Se deben entregar los siguientes documentos

- Planos Planta-Perfil incluidas las intersecciones.
- Planos con el diseño de las secciones transversales cada 10 metros y en abscisas especiales (TE, EC, CE, ET, obras viales)
- Carteras de campo y de oficina.
- Planos detallados para la construcción y memorias de cálculo de los estudios y diseños realizados.
- Pliegos de licitación para la construcción.

▪ Carreteras Secundarias y Terciarias.⁸

a. Adquisición de la cartografía existente.

Esta adquisición se realiza de la misma forma que en la carretera Primaria.

b. Identificación con base en la información geográfica de los posibles corredores de ruta.

Se debe clasificar el terreno según la pendiente transversal, estabilidad geológica, patrón de drenaje y zonas de vida o ecosistemas. Al igual que en carreteras Primarias se traza una línea de ceros provisional teniendo en cuenta la Pendiente Media Máxima.

c. Identificación sobre las restituciones 1:10.000 los tramos homogéneos desde el punto de vista de la velocidad de diseño.

El principal criterio es la homogeneidad en el tipo de terreno. Las fronteras entre tramos son puntos secundarios de control adicionales.

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 21.

d. Asignación de la velocidad de diseño preliminar a cada tramo homogéneo.

A cada uno de los tramos homogéneos identificados se le debe asignar una Velocidad de Diseño preliminar conforme a los criterios establecidos en el control del diseño geométrico.

e. Trazado de a línea de ceros sobre las restituciones 1:10.000

La línea de ceros se debe trazar entre los puntos secundarios de control considerados como fronteras entre tramos homogéneos de acuerdo a la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PM_{máx}) en conjunto con la velocidad de diseño asignada a cada tramo homogéneo.

La pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PM_{máx}) en un Tramo Homogéneo debe ser menor que la pendiente máxima permitida para una tangente vertical incluida en dicho tramo homogéneo. En ningún caso la Pendiente Media Máxima puede ser superior a 7%.

f. Reconocimiento terrestre.

El reconocimiento terrestre se hace con el fin de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía.

Para rectificar que la línea de ceros es factible, se debe medir la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con base a la línea de ceros se debe calcular la Pendiente Media del corredor entre los puntos de control y constatar sobre el terreno si se supera o no la máxima permitida según la Velocidad de diseño asignada al tramo homogéneo.

g. Trazado de la línea de ceros en el terreno.

El propósito del trazado de la línea de ceros en el terreno es verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo sin superar la Pendiente Media

Máxima del corredor de ruta ($PM_{\text{máx}}$) asociada con la Velocidad de diseño asignada (VTR).

h. Levantamiento topográfico del corredor de ruta.

La primera actividad es el establecimiento de una poligonal cuyos vértices serán bases de topografía a partir de las cuales, mediante radiación, se toman las coordenadas de puntos del terreno. Otra alternativa es utilizar GPS para la realización de esta actividad siempre y cuando su precisión sea alta.

i. Estudio de la estratigrafía a lo largo del corredor de ruta.

El diseño en planta del eje de la carretera debe ser compatible con el diseño en perfil y de la sección transversal. Es por esto, que definir la posición del eje en planta sin conocer, al menos en forma aproximada, las características de los estratos involucrados en la explanación puede traer consecuencias durante la ejecución de los diseños definitivos. Para inferir la probable estratigrafía a lo largo del corredor de ruta, se deben llevar a cabo métodos indirectos y de bajo costo, como los geosísmicos.

j. Diseño del eje en planta y perfil, sección transversal y definición de algunos aspectos requeridos para el diseño geométrico.

En el diseño en planta, perfil y secciones transversales de una carretera secundaria y Terciaria se deben tener en cuenta aspectos geotécnicos, estudio de hidrología y de hidráulica de cauces y el prediseño de las intersecciones con otras carreteras los cuales también fueron tomados en cuenta en el desarrollo de una carretera Primaria y mencionados anteriormente. Una vez escogida la alternativa se le hacen los ajustes necesarios y así obtener un diseño con equilibrio en todos los aspectos.

k. Estudio de impacto ambiental.

Así como en un proyecto de carretera Primaria, el impacto ambiental debe ser mitigable. Si es así, se procede con los siguientes pasos. En caso contrario se debe descartar el proyecto por el corredor seleccionado.

l. Estudios y diseños complementarios.

Se deben hacer los mismos estudios y diseños establecidos en la carretera Primaria.

m. Elaboración del presupuesto

Se deben calcular las cantidades de obra y conformar el precio unitario de cada uno de los ítems involucrados en el proyecto. Además, se debe tener en cuenta el costo de la interventoría de la construcción.

n. Elaboración de la documentación final.

Se deben presentar mínimo los mismos documentos para la construcción de una carretera Primaria.

1.3 CONDICIONES DE DISEÑO DE UNA CARRETERA

1.3.1 Características Geométricas y condiciones de diseño.

Son las que establecen las condiciones de funcionalidad de una carretera ya que inter-relaciona factores como: radios de giro, entretangencias, alineamientos horizontales y verticales, distancias de visibilidad, secciones transversales, etc.

Las condiciones de diseño de la vía las establece en Tránsito Promedio diarios (TPD) , las condiciones de tráfico las cuales establecen la categoría y la clasificación de la carretera al igual que su capacidad y niveles de servicio.

- **Las condiciones del tráfico.**

Para establecer las condiciones del tráfico en una carretera es necesario conocer los siguientes aspectos:

- **Volumen:** Es la cantidad de vehículos que pasan por un determinado punto en un período de tiempo establecido. Para conocer los volúmenes de tránsito en los diferentes tramos de una vía se recurre a los aforos los cuales son conteos de tránsito que nos permiten determinar el número de vehículos que pasan por una estación y a las encuestas de origen y destino.
- **Tránsito Promedio Diario (TPD):** Es la unidad de medida para indicar el volumen de tránsito de una carretera, preferiblemente de un año dividido en el número de días del mismo período, obteniéndose así el volumen medio en 24 horas. El índice obtenido no puede ser utilizado como parámetro de diseño geométrico porque tan solo es una aproximación de la importancia de la vía.
- **Proyección del tráfico:** En la etapa de diseño generalmente se usa un período de diseño de 20 años. Según la metodología para la proyección del tráfico se clasifican dos grandes grupos: El tráfico actual dividido en tráfico existente y tráfico futuro y el tráfico futuro dividido en crecimiento normal, tráfico inducido y tráfico de desarrollo.
- **Tráfico existente:** Es el que circula en la actualidad por una vía ya construida o volumen de tráfico que usaría una vía nueva.
- **Crecimiento normal:** es que el que se presenta debido al aumento de la población. Se establece por medio de la tasa de motorización

(número de vehículos por habitantes) regional o local, índices de producción, índices de ingreso, etc.

- **Tránsito inducido:** Es el que se origina exclusivamente por la novedad que engendra un proyecto de mejoramiento o rehabilitación vial o la construcción de una vía nueva y no por la necesidad de utilizarla. Se desarrolla máximo en los dos primeros años de la etapa de operación del proyecto.

- **Tráfico de desarrollo:** Es un factor que crece durante varios años en la etapa de operación del proyecto como evidencia de una buena formulación del mismo. Tiene su origen en la integración al desarrollo de los terrenos adyacente a la nueva vía.

- **Capacidad de una carretera:** Es el máximo número de vehículos que pueden circular en un tramo de la vía en unidad de tiempo determinado, bajo condiciones prevalecientes tanto de la propia carretera como de operación del tráfico.

- **Niveles de Servicio de una Carretera**

Son los que establecen las condiciones de operación para un conductor en su tránsito por la vía, cuando aloja diferentes volúmenes de tráfico en función de: Velocidad, tiempo de recorrido, interrupciones en la circulación, seguridad, comodidad, facilidad de conducción y economía. A cada nivel de servicio corresponde un volumen de tráfico llamado volumen de servicio.

Los tipos de Niveles de Servicio fueron clasificados en función de factores como la velocidad de operación y la relación volumen de servicio – capacidad comenzando por el nivel A con condiciones óptimas y finalizando con el nivel F

donde se encuentran las peores condiciones de operatividad.

- **Nivel de Servicio Clase A:** el conductor tiene libre circulación con velocidades altas. En la vía hay bajos volúmenes de tránsito y poca presencia de otros vehículos en la vía.

Figura 1. Nivel de Servicio Clase A



- **Nivel de Servicio Clase B:** La circulación es estable pero la velocidad de operación empieza a verse afectada por el aumento de la densidad vial.

Figura 2. Nivel de Servicio Clase B



- **Nivel de Servicio Clase C:** La circulación continua estable pero la velocidad y la libertad de maniobra dependen del volumen de tránsito.

Figura 3. Nivel de Servicio Clase C



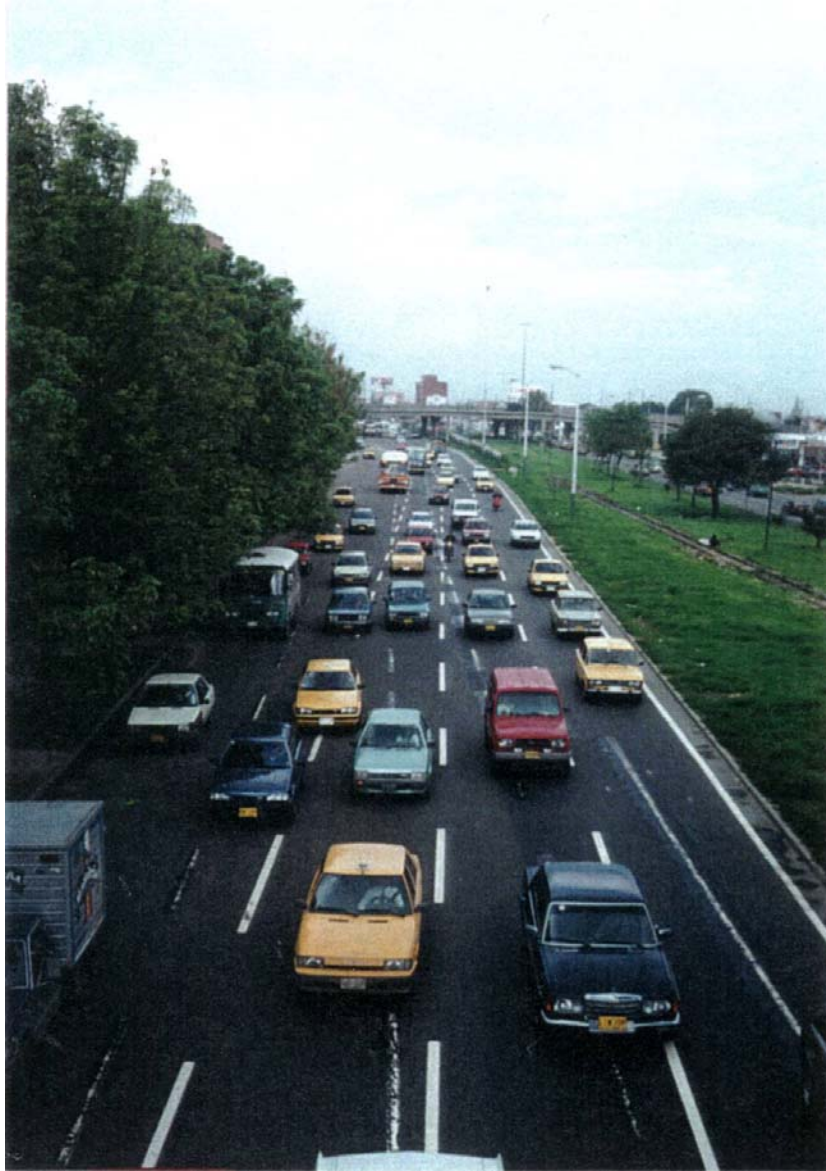
- **Nivel de Servicio Clase D:** Comienza cierta inestabilidad en la circulación vehicular. La velocidad de operación es satisfactoria pero su escogencia se ve altamente restringida.

Figura 4. Nivel de Servicio Clase D



- **Nivel de Servicio Clase E:** La circulación es inestable, el volumen de tráfico llega a la capacidad de la vía. la velocidad es baja y se pueden producir paradas de corta duración.

Figura 5. Nivel de Servicio Clase E



- **Nivel de Servicio Clase F:** Se producen frecuentes paradas a consecuencia del alto volumen de tráfico por lo cual se producen frecuentes paradas. Ingresan más vehículos que los que la vía puede evacuar.

Figura 6. Nivel de Servicio Clase F



2. CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1 VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño o velocidad del proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables.⁹

2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO.

Para asignar la velocidad de diseño del trazado es necesario identificar los tramos homogéneos en la misma a los cuales se les puede asignar la misma velocidad. Esta velocidad se conoce como Velocidad del Tramo Homogéneo (VTR).

Para identificar los tramos homogéneos y su velocidad de diseño (VTR) se debe tener en cuenta:

- a. La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño deberá ser de 3 kilómetros para velocidades entre 20 y 50 Km/h y de 4 kilómetros para velocidades entre 60 y 110 Km/h.
- b. La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor a 20 Km/h.¹⁰

⁹ CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá, 2005. p.6.

¹⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 37.

A cada uno de los tramos homogéneos se les define su velocidad según la carretera y el tipo de terreno como lo indica la siguiente tabla

Tabla 1. Velocidad de diseño de un tramo homogéneo VTR en Km/h.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (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										

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

2.3 VELOCIDAD ESPECÍFICA

Se define como la máxima velocidad con la que probablemente sería abordado el elemento geométrico de la curva y es con la que justamente se debe diseñar cada 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 (VTR) 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 Homogéneo.
- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en el que el vehículo realiza el recorrido.¹¹

Para garantizar que en curvas y entretangencias la Velocidad Especifica sea en lo posible igual, 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 (VTR) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora (VTR + 20 km/h).

2.3.1 Velocidad Específica de la curva horizontal (VCH)

La Velocidad específica de cada una de las curvas horizontales se establece según los siguientes criterios:

- a. La Velocidad específica de cada una de las curvas horizontales no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo ni superior a ésta en 20 Km/h.
- b. La Velocidad Específica de una curva horizontal debe ser asignada teniendo en cuenta la Velocidad Específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento anterior.¹²

¹¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 37.

¹² Ibid., p. 40.

Según la práctica, los conductores toman la decisión de ajustar de Velocidad según sea el caso, donde la longitud del segmento recto anterior y la Velocidad de diseño del Tramo (VTR) son las variables a considerar. Dichas situaciones están consignadas en la Tabla 2.

Cada curva horizontal tendrá su Velocidad Específica la cual se debe establecer según los siguientes criterios:

- a. La Velocidad Específica de la curva horizontal debe ser menor que la velocidad de diseño del tramo y menor a ésta en 20 Km/h. es decir:

$$\mathbf{VCH \geq VTR} \quad \mathbf{y} \quad \mathbf{VCH \leq VTR + 20}$$

- b. La diferencia de las Velocidades Específicas de la última curva horizontal de un tramo y la primera del siguiente deben ser las consignadas en la tabla 3 las cuales son función de la Velocidad de diseño de los tramos contiguos y de la longitud del segmento recto entre dichas curvas.¹³

¹³ Ibid., p. 40.

Tabla 2. Velocidad Específica de una curva horizontal (VCH) incluida en un tramo homogéneo con Velocidad de diseño VTR

Velocidad Específica de la curva horizontal anterior VCH (Km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (VTR) ≤50 Km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (VTR) > 50 Km/h				
	Longitud del Segmento recto anterior (m)					Longitud del Segmento recto anterior (m)				
	L≤70	70<L≤250		250<L≤400	L>400	L≤150	150<L≤400		400<L≤600	L>600
		Δ<45°	Δ≥45°				Δ<45°	Δ≥45°		
VTR	VTR	VTR	VTR	VTR + 10	VTR + 20	VTR	VTR	VTR	VTR + 10	VTR + 20
VTR + 10	VTR + 10	VTR + 10	VTR	VTR + 10	VTR + 20	VTR + 10	VTR + 10	VTR	VTR + 10	VTR + 20
VTR + 20	VTR + 20	VTR + 20	VTR + 10	VTR + 10	VTR + 20	VTR + 20	VTR + 20	VTR + 10	VTR + 10	VTR + 20

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Tabla 3. Diferencia entre la Velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en Km/h.

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

NOTAS:

- (1) La longitud del Segmento recto de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado.
- (2) No aplica.
- (3) Si la longitud del Segmento recto anterior es mayor de 400 metros es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos Homogéneos (VTR)
- (4) Si la longitud del Segmento recto anterior es mayor de 600 metros es necesarios revisar las velocidades asignadas a los Tramos Homogéneos (VTR).
- (5) Si la longitud del segmento recto anterior se encuentra entre 200 y 400 metros es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos Homogéneos (VTR).
- (6) Si la longitud del Segmento recto anterior se encuentra entre 400 y 600 metros es necesario revisar las velocidades asignadas a los Tramos Homogéneos.

2.3.2 Velocidad de la entretangencia horizontal (VETH).

Entre dos curvas horizontales encontramos una parte del diseño en planta llamado entretangencia definida como la distancia recorrida entre el último punto de la curva anterior y el primer punto de la curva siguiente. Cada una de las curvas existentes en el principio y final de la entretangencia tiene su propia Velocidad Específica. Los vehículos circularan por la entretangencia a la velocidad con la que salieron de la curva siendo críticos los que entran a la entretangencia desde la curva horizontal que presenta mayor Velocidad Específica.

Según esto, la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal debe ser igual a la mayor de las Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.¹⁴

¹⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 46.

2.3.3 Velocidad Específica de la curva vertical (Vcv).

Se define como la máxima velocidad a la que puede ser recorrida una curva vertical en condiciones de seguridad. Si la curva vertical coincide con una curva horizontal, su velocidad deberá ser igual a la Velocidad Específica de la curva horizontal.¹⁵

Si la curva vertical se encuentra dentro de una entretangencia horizontal, su velocidad corresponderá a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal.

2.3.4 Velocidad Específica de la tangente Vertical (VTV).

La velocidad con la que se diseñan cada uno de los elementos en perfil debe coincidir con la Velocidad Específica asignada a los elementos geométricos en planta. Por esta razón, la Velocidad de la tangente horizontal es igual a la Velocidad de la Tangente Vertical.

2.4 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Es la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.¹⁶

En el diseño de una carretera se deben considerar las siguientes Distancias de Visibilidad:

2.4.1 Distancia de Visibilidad de parada (Dp).

Distancia necesaria para que el conductor de un vehículo pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo q aparezca en su trayectoria circular a la velocidad específica del elemento (VCH, VETH, VCV O VTV).¹⁶

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 47.

¹⁶ Ibid., p. 58

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

- **Distancia recorrida durante el tiempo de percepción.**

Se mide desde el momento en que se hace visible es obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos.

- **Distancia recorrida durante el frenado.**

Se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en el que el vehículo se detiene totalmente. Para efectos de diseño se adopta

La Distancia de Visibilidad de Parada para pavimentos húmedos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Dp = 0.693Ve + \frac{Ve^2}{87.18}$$

Donde:

Dp: Distancia de visibilidad de parada.

Ve: Velocidad Específica del elemento sobre el cual se ejerce la maniobra de frenado.

En la tabla 4 se presentan los valores recomendados para las distancias mínimas de visibilidad de parada para diferentes velocidades de diseño, para tramos con pendiente = 0%.

¹⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 59.

Tabla 4. Distancia de visibilidad de parada en tramos con pendiente = 0%

VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve	DISTANCIA DE PERCEPCIÓN - REACCIÓN	DISTANCIA DURANTE EL FRENADO	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (Dp)	
			CALCULADA	REDONDEADA
(Km/h)	(m)	(m)	(m)	(m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

La distancia de visibilidad de parada para tramos con pendiente igual a 3% se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_p = 0.693V_s + d$$

En la tabla 5 se indican las distancias de visibilidad de parada para tramos con pendientes mayores a 3%.

Tabla 5. Distancias de visibilidad de parada en tramo con pendiente.

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

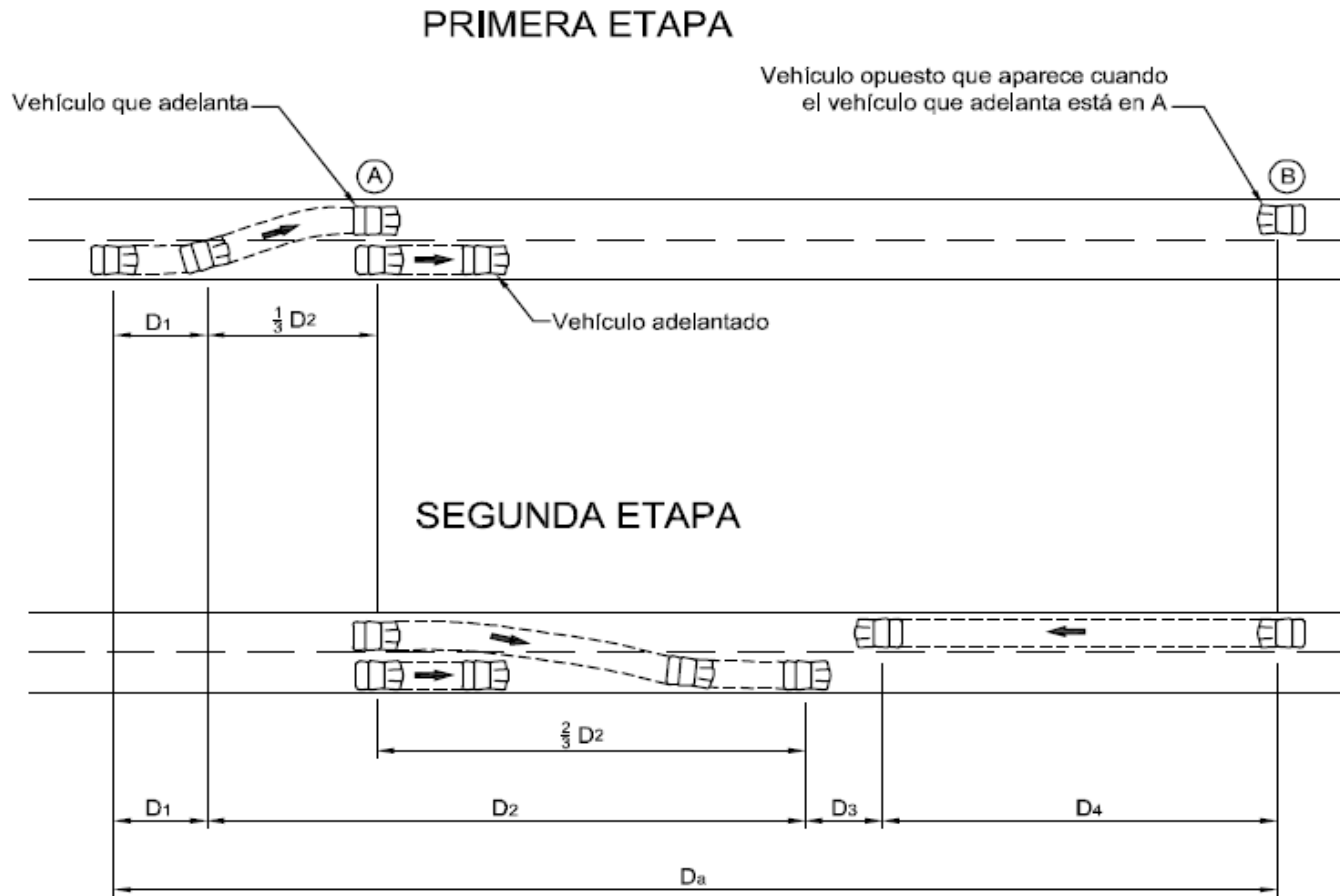
2.4.2 Distancia de Visibilidad de adelantamiento (Da).

Es la necesaria para que un vehículo pueda adelantar a otro que marcha por el mismo carril a menor velocidad, sin peligro de colisión con un tercero que pueda venir en dirección contraria por el carril que eventualmente utiliza para la maniobra de adelantar.¹⁸

Esta distancia solo debe considerarse en carreteras de dos carriles con tránsito en ambos sentidos.

¹⁸ BRAVO, Paulo Emilio. Diseño de Carreteras, Técnicas y Análisis del proyecto, Sexta Edición. Bogotá D.C, 1998. p 203

Figura 7. Distancia de Visibilidad de adelantamiento



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Entonces, la distancia de adelantamiento se determina así:

$$^{19} D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$$

Donde:

Da: Distancia de visibilidad de adelantamiento, en metros.

D₁: Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción, en metros.

D₂: Distancia recorrida por el vehículo que adelanta durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, en metros.

D₃: Distancia de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo que adelanta y el vehículo que viene en la dirección o puesta, en metros.

D₄: Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto (estimada en 2/3 de D₂, en metros.

Cada una de las distancias se calculan de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$^{19} D_1 = 0.278t_1 \times \left(V - m + \frac{a \times t_1}{2} \right)$$

Donde:

T₁: Tiempo de la maniobra inicial, en segundos.

V: Velocidad del vehículo que adelanta.

a: Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el adelantamiento, en Km/h.

m: Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a 15 Km/h en todos los casos.

¹⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 62.

$$^{20} D_2 = 0.278 \times V \times t_2$$

Donde:

V: Velocidad del vehículo que adelanta, en Km/h.

t₂: Tiempo empleado por el vehículo al realizar la maniobra para volver a su carril, en segundos.

²⁰ D₃ = Distancia variable entre 30 y 90 metros.

$$^{20} D_4 = \frac{2}{3} \times D_2$$

En la siguiente tabla se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento D_a, para carreteras de dos carriles dos sentidos.

²⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 62, 63.

Tabla 6. Mínima distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA AL MANIOBRA V_{ETH} (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, V (Km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_a (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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

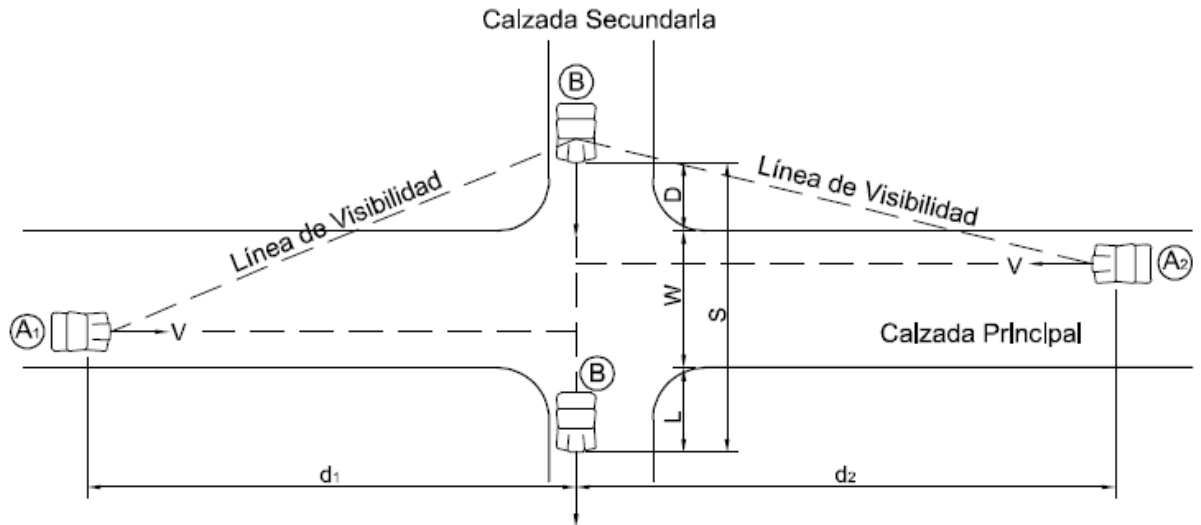
2.4.3 Distancia de Visibilidad de cruce (D_c).

En las carreteras debe existir visibilidad continua en todas las calzadas que se cruzan, incluyendo sus esquinas lo cual permitirá a los conductores verse mutuamente con tiempo y así evitar colisiones. Cuando un vehículo deba detenerse por la presencia de una señal de "PARE", el conductor deberá tener suficiente distancia de visibilidad que le permita realizar una maniobra segura a través del área de la intersección, ya sea para cruzar de frente la calzada principal o para girar a la derecha o a la izquierda sobre ella.

La siguiente figura muestra el triángulo de visibilidad para la condición descrita anteriormente.

Figura 8. Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad.

Intersección con señal de “PARE” en la calzada secundaria.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

La distancia mínima de visibilidad de cruce necesaria a lo largo de la calzada principal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d = 0.278 \times V \times (t_1 + t_2)$$

Donde:

d: Distancia mínima de visibilidad lateral requerida a lo largo de la calzada principal, medida desde la intersección, en metros. En la figura 2 corresponde a las distancias d_1 y d_2 .

²¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 66.

Ve: Velocidad específica de la calzada principal, en Km/h. corresponde a la velocidad específica del elemento de la calzada principal inmediatamente antes del sitio de cruce.

t₁: Tiempo de percepción reacción del conductor que cruza, adoptado en 2.5 segundos.

t₂: Tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S, cruzando la calzada principal, en segundos.

El tiempo t₂ necesario para recorrer la distancia S depende de la aceleración de cada vehículo. La distancia S se calcula con:

$$S = D + W + L$$

Donde:

D: Distancia entre el vehículo parado y la orilla de la calzada principal, adoptada como 3 metros.

W: Ancho de la calzada principal, en metros.

L: Longitud total del vehículo, en metros.

El valor de t₂ se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 \times (D + W + L)}{9.8 \times a}}$$

Donde:

D: 3 metros.

W: Ancho de la calzada principal o ancho del total de los carriles, en metros.

²² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 67.

- L: Según el tipo de vehículo
- 20.89 m para vehículos articulados
 - 11.00 m para camión de dos ejes.
 - 5.00 m para vehículos livianos.
- a: Aceleración del vehículo que realiza la maniobra de cruce, en m/s^2
- 0.055 para vehículos articulados.
 - 0.075 para camiones de dos ejes.
 - 0.150 para vehículos livianos.

2.5 LÍNEA DE CEROS

Es aquella que, pasando por los puntos obligados del proyecto, conserva la pendiente uniforme especificada y que debe coincidir con el eje de la vía, éste no aceptará cortes ni rellenos. Es conocida también como línea de pendiente.

Corresponde a un trazo de pendiente uniforme que debe coincidir con el eje de la vía y se ajusta al terreno de tal forma que no requiere cortes o excavaciones.

3. DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA.

El diseño geométrico en planta de una carretera, es la representación en planta de su eje. Está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares simples, curvas compuestas y curvas espiralizadas que permiten una transición suave al pasar por alineamientos rectos a curvas o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. El alineamiento horizontal debe permitir una operación cómoda y segura a la Velocidad de Diseño.²³

3.1 CURVAS HORIZONTALES

3.1.1 Curvas Circulares Simples

Las curvas circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio.

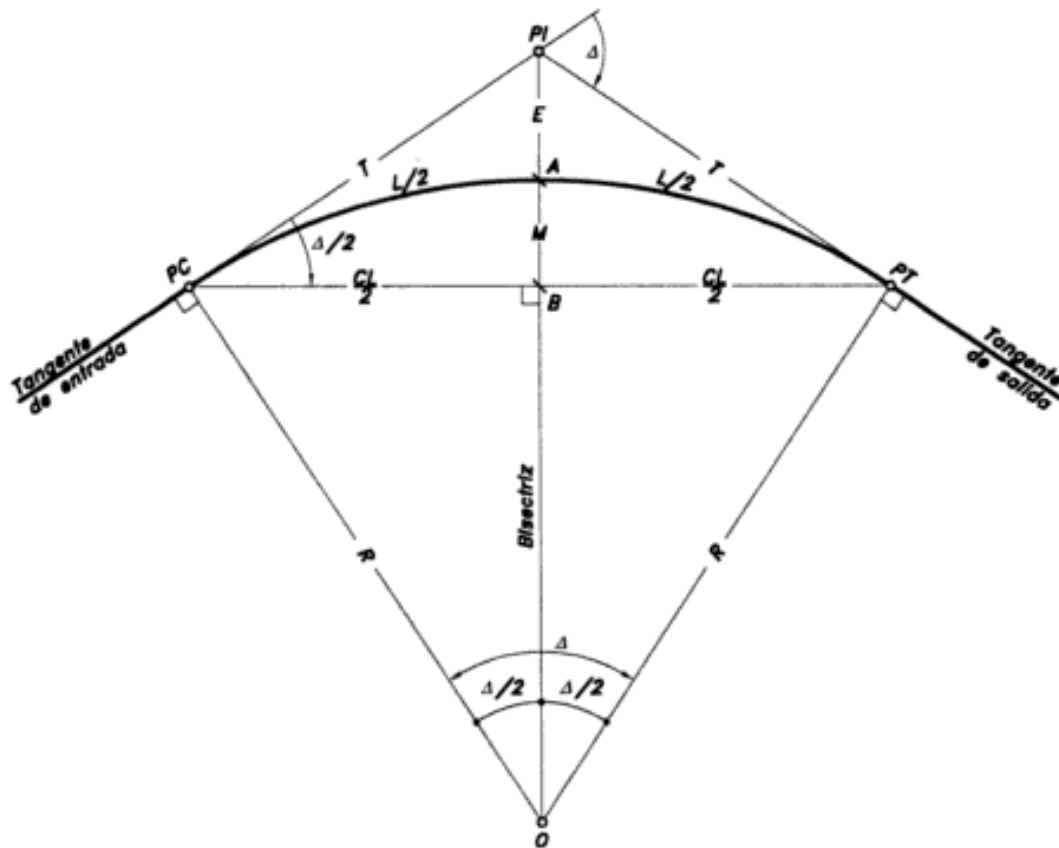
- **Elementos de la Curva Circular Simple**
 - **PI:** Punto de cruce de dos tangentes que forman el empalme.
 - **PC:** Principio de curva. Es allí donde termina la tangente y comienza la curva.
 - **PT:** Punto de Tangente. Punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.
 - **Δ :** Ángulo de deflexión del PI, en grados.
 - **R:** Radio de la curva circular simple, en metros.
 - **Lc:** Longitud del arco circular, en metros.
 - **T:** Tangente de la curva. Distancia medida desde el PC al PI o desde el PI al PT.
 - **E:** Externa. Distancia del PI al punto medio de la curva.

²³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 73.

- **G**: Grado de la curva circular. Ángulo al centro subtendido por una cuerda escogida como unidad.
- **C**: Cuerda. Distancia resta entre dos puntos de la curva. Se toman valores de 5, 10 y 20 metros.
- **CL**: Cuerda larga. Distancia en línea recta entre el PC y el PT.
- **M**: Ordenada media. Distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B

En la figura 9 se muestra el esquema de la curva circular simple

Figura 9. Elementos geométricos de una curva circular simple.



Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras

Tabla 7. Ejemplo de cartera de localización de una curva circular simple.

	K2+560				↑
	540				
	540				
	500				
PT	K2+496.981	29°59'59.47"	Δ=60°D	S89°E	○ PT
	490	27°08'25.43"	R=70 m		↑
	480	23°02'39.67"	c=10 m		
	470	18°56'53.91"	Gc=08°11'31.52"		
	460	14°51'08.15"	T=40.415 m		
	450	10°45'22.39"	Lc=73.241 m		
	44	06°39'36.63"	CL=70 m		
	430	02°33'50.87"	E=10.829 m		
PC	K2+423.740	00°00'00"	M=9.378 m	N31°E	○ PC
	420				↑
	400				
	380				
	K2+360				
ESTACIÓN	ABSCISA	DEFLEXIÓN	ELEMENTOS	RUMBO	ANOTACIONES

▪ **Expresiones para el cálculo de los elementos de la Curva Circular Simple**

- **Tangente (T):** Conocido el valor del radio de la curva el cual es asignado según el diseñador, se puede calcular el valor de la Tangente mediante:

$$T = R \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

De la fórmula anterior es posible determinar el radio cuando se conoce el valor de la Tangente con:

$$R = \frac{T}{\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)}$$

- **Longitud de la curva (Lc):** Una vez asignado el radio de la curva y medido el ángulo Δ hallamos la longitud de la curva.

$$Lc = R \times \Delta$$

- **Externa (E):**

En función de R y Δ :

$$E = R \left[\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1 \right]$$

En función de T y Δ :

$$E = T \times \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$$

- **Grado (G):**

$$G = 2 \arcsen\left(\frac{C}{2R}\right)$$

- **Cuerda Larga (CL):**

$$CL = 2R \times \sen\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- **Ordenada Media (M):**

$$M = R \times \left(1 - \cos \frac{\Delta}{4}\right)$$

3.1.2 Curvas Compuestas

Las curvas circulares compuestas son aquellas que se están formadas por dos o más curvas circulares simples.

Se pueden emplear en terrenos montañosos, cuando se quiere que la carretera quede lo más ajustada posible a la forma del terreno o topografía natural, lo cual reduce el movimiento de tierras. También se pueden utilizar cuando existen limitaciones de libertad en el diseño, como por ejemplo en los puentes, en los pasos a desnivel y en las intersecciones.

24

- **Curvas Circulares Compuestas de dos radios.**

Es aquella formada por dos curvas circulares de diferente radio.

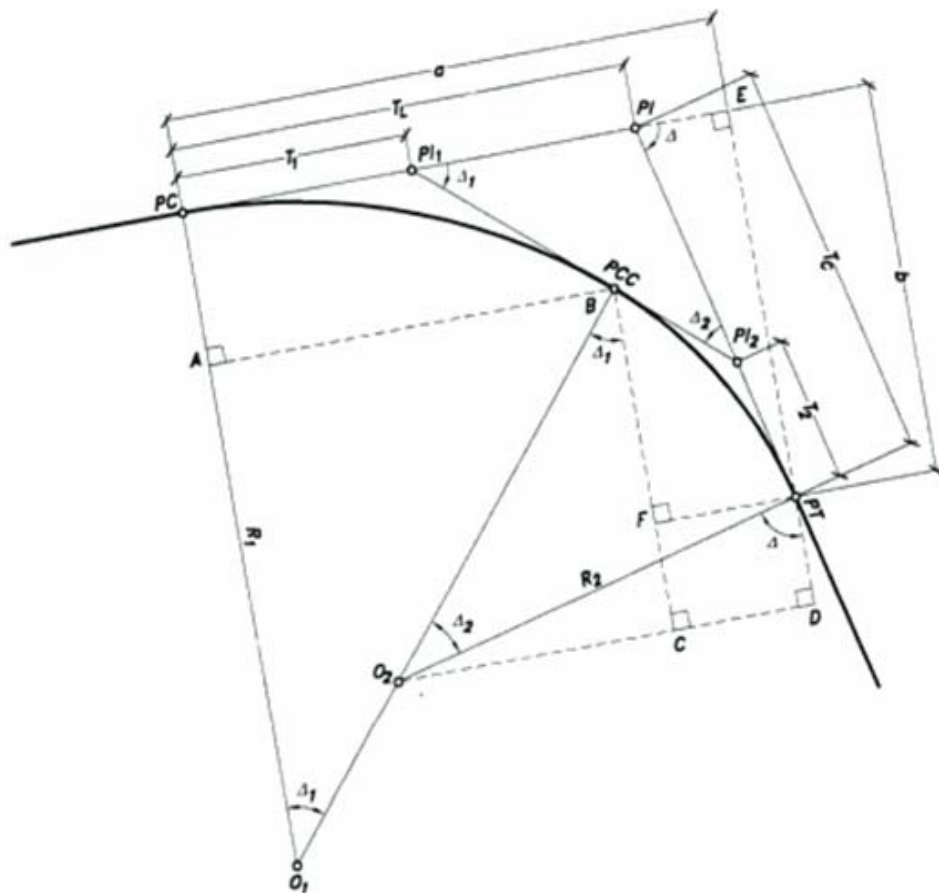
- **Elementos de la Curva Circular Compuesta de dos radios.**

- **PI:** Punto de intersección de las tangentes.
- **PC:** Principio de la curva compuesta.
- **PT:** Fin de la curva compuesta o principio de la tangente.
- **PCC:** Punto común de curvas o punto de curvatura compuesta.
- **R₁:** Radio de la curva de mayor radio.
- **R₂:** Radio de la curva de menor radio.
- **O₁:** Centro de la curva de mayor radio.
- **O₂:** Centro de la curva de menor radio.

²⁴ CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá D.C, 2005. p.122.

- Δ : Ángulo de deflexión principal.
- Δ_1 : Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.
- Δ_2 : Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.
- T_1 : Tangente de la curva de radio mayor.
- T_2 : Tangente de la curva de radio menor.
- T_L : Tangente larga de la curva circular compuesta.
- T_c : Tangente corta de la curva circular compuesta.

Figura 10. Curva circular compuesta de dos radios.



Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras.

En la tabla 8 se muestra la cartera de localización de una curva circular simple.

Tabla 8. Ejemplo de cartera de localización de una curva compuesta

	K1+100				
	090				
	080				
PT	K1+074.905	56°00'00.24"	Δ=112°D	144°	○
	070	52°52'57.50"	Δ ₁ =34°D		↑
	060	46°31'37.26"	Δ ₂ =78°D		
	050	40°10'17.02"	R ₁ =76-800m		
	040	33°48'56.78"	R ₂ =45.098m		
	030	27°27'36.54"	C=10m		
	020	21°06'16.30"	G _{C1} =7°27'56.41"		
PCC	K1+013.542	17°00'00.25"	G _{C2} =6°21'20.24"	66°	○
	010	15°40'40.44"	L _{C1} =45.542m		↑
	K1+000	11°56'42.24"	L _{C2} =61.363m		
	990	08°12'44.04"	T ₁ =23.480m		
	980	04°28'45.84"	T ₂ =36.520m		
	970	00°44'47.64"	T _L =86.778m		
PC	K0+968.000	00°00'00"	T _C =72.706m		○
	960				
	950				
	K0+940				
ESTACIÓN	ABSCISA	DEFLEXIÓN	ELEMENTOS	ACIMUT	ANOTACIONES

- **Expresiones para el cálculo de los elementos de la curva compuesta de dos radios.**

Los elementos de cada una de las curvas que forman la curva circular compuesta de dos radios se calculan de en forma independiente en cada una de ellas, utilizando las expresiones de la curva circular simple expuestas anteriormente.

- **Tangente larga (TL):**

$$T_L = \frac{R_2 - R_1 \cos \Delta + (R_1 + R_2) \cos \Delta_2}{\text{sen } \Delta}$$

- Tangente corta (Tc):

$$T_c = \frac{R_1 - R_2 \cos \Delta + (R_1 - R_2) \cos \Delta_1}{\text{sen } \Delta}$$

- **Curvas Circulares Compuestas de tres radios.**

Es aquella formada por tres curvas circulares de radio diferente.

Al igual que la curva circular compuesta de dos radios, esta curva tiene los mismos elementos que la curva circular simple y adicionalmente otros como:

- Tangente larga (TL):

$$T_L = \frac{R_2 - R_1 \cos \Delta + (R_1 - R_2) \cos (\Delta_2 + \Delta_3) + (R_2 - R_3) \cos \Delta_3}{\text{sen } \Delta}$$

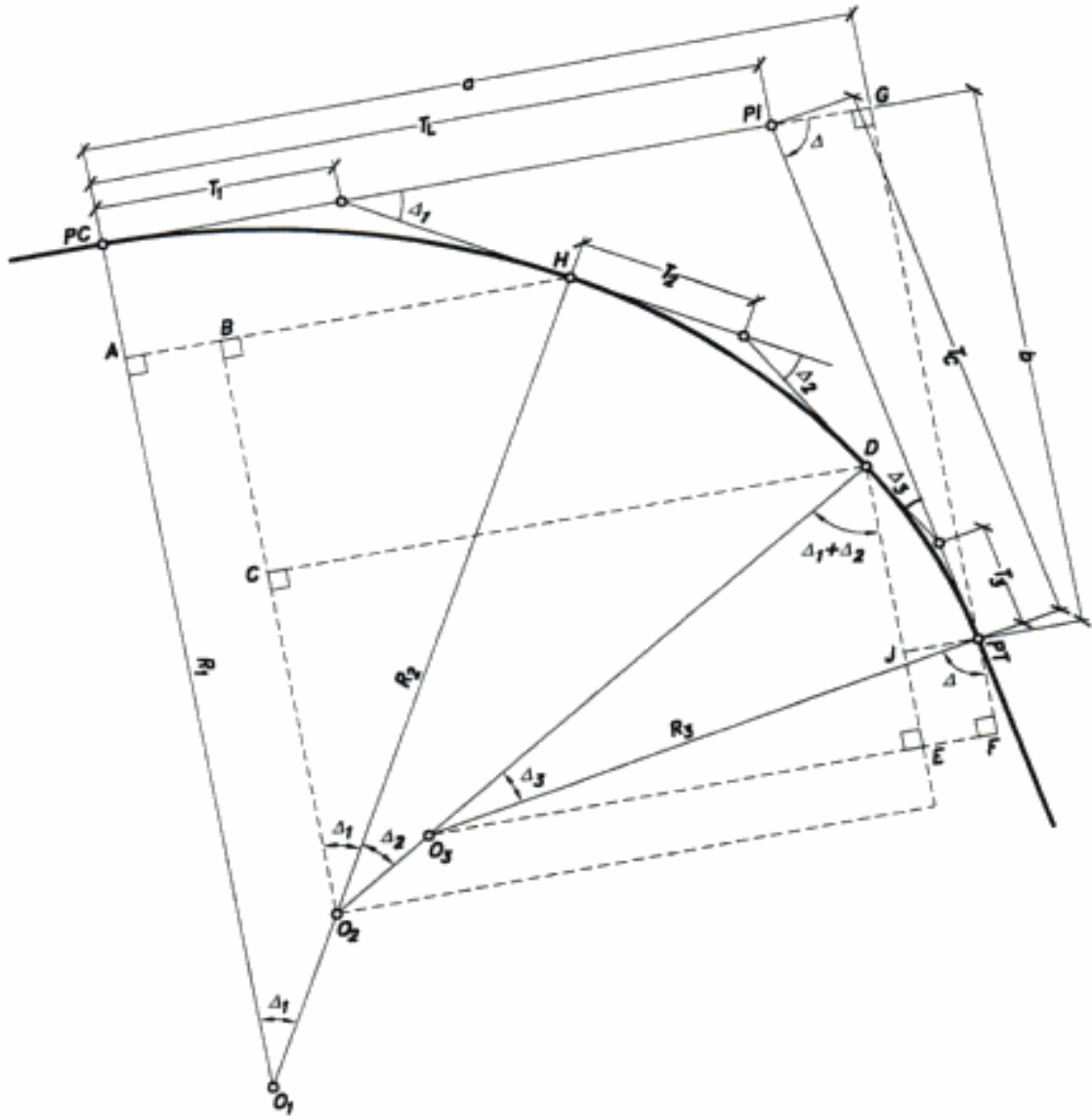
- Tangente corta (Tc):

$$T_c = \frac{R_1 - R_3 \cos \Delta - (R_1 - R_2) \cos \Delta_1 - (R_2 - R_3) \cos (\Delta_1 + \Delta_2)}{\text{sen } \Delta}$$

Las expresiones anteriores son sólo válidas si: $R_1 > R_2 > R_3$

La figura 11 muestra una curva compuesta de tres radios de longitudes diferentes tal que $R_1 > R_2 > R_3$ y de ángulos de deflexión principal Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 respectivamente.

Figura 11
Curva compuesta de tres radios



Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras.

Un caso mas general es aquel en el cual siempre el radio de la primera curva es R_1 , el de la segunda curva es R_2 y el de la tercera R_3 , cualquiera sean sus longitudes. En este caso, es mas conveniente denominar las tangentes de la curva

compuesta como Tangente de entrada T_E y Tangente de Salida T_s las cuales se calculan como:

- **Tangente de entrada (T_E):**

$$T_E = T_1 + \left[T_1 + T_2 + \frac{(T_2 + T_3) \operatorname{sen} \Delta_3}{\operatorname{sen}(\Delta_2 + \Delta_3)} \right] \left[\frac{\operatorname{sen}(\Delta_2 + \Delta_3)}{\operatorname{sen} \Delta} \right]$$

- **Tangente de salida (T_s):**

$$T_s = T_3 + \left[T_1 + T_2 + \frac{(T_2 + T_3) \operatorname{sen} \Delta_3}{\operatorname{sen}(\Delta_2 + \Delta_3)} \right] \left(\frac{\operatorname{sen} \Delta_1}{\operatorname{sen} \Delta} \right) + \frac{(T_2 + T_3) \operatorname{sen} \Delta_2}{\operatorname{sen}(\Delta_2 + \Delta_3)}$$

Las tangentes simples T_1 , T_2 y T_3 se calculan en cada curva así:

$$T_1 = R_1 \tan \frac{\Delta_1}{2}$$

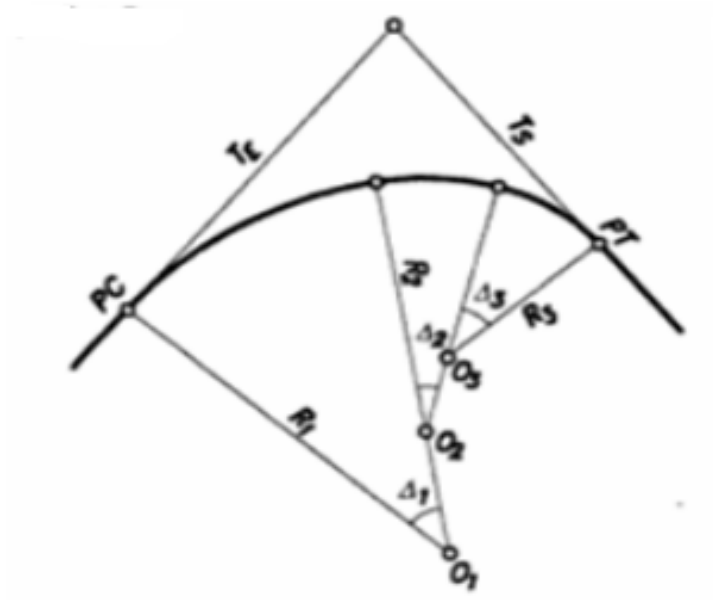
$$T_2 = R_2 \tan \frac{\Delta_2}{2}$$

$$T_3 = R_3 \tan \frac{\Delta_3}{2}$$

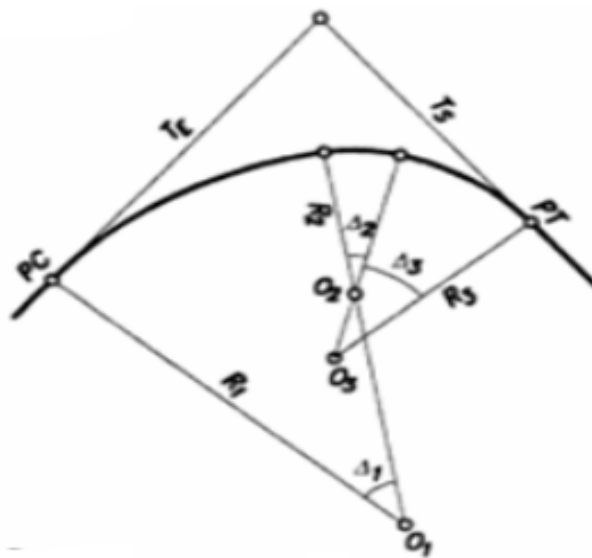
Dependiendo del valor de las longitudes de los radios R_1 , R_2 , R_3 , en la figura 12 se presentan las seis posibles configuraciones.

Figura 12. Configuraciones de radios

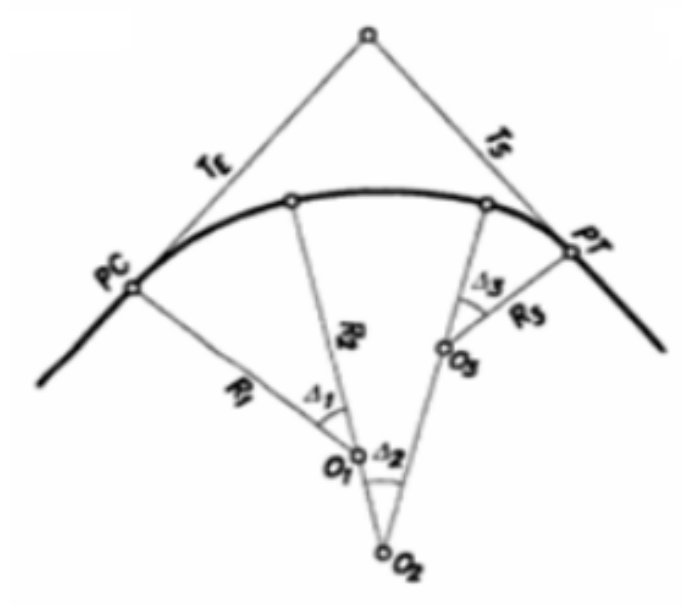
- $R_1 > R_2 > R_3$



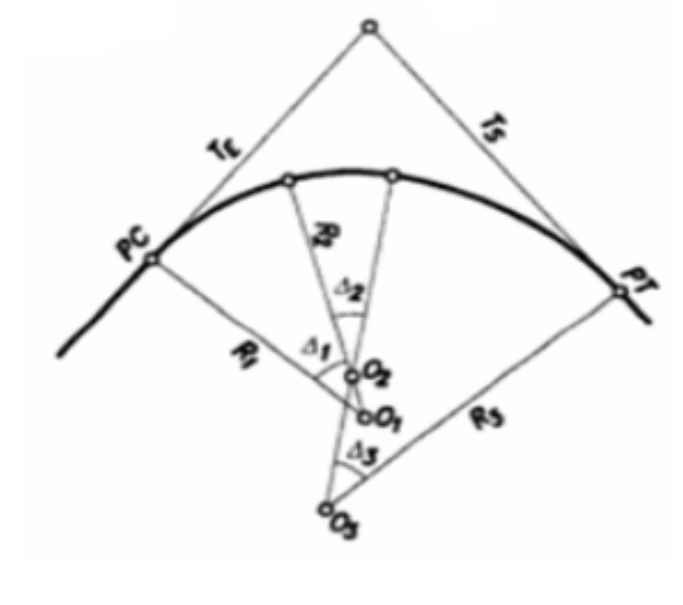
- $R_1 > R_3 > R_2$



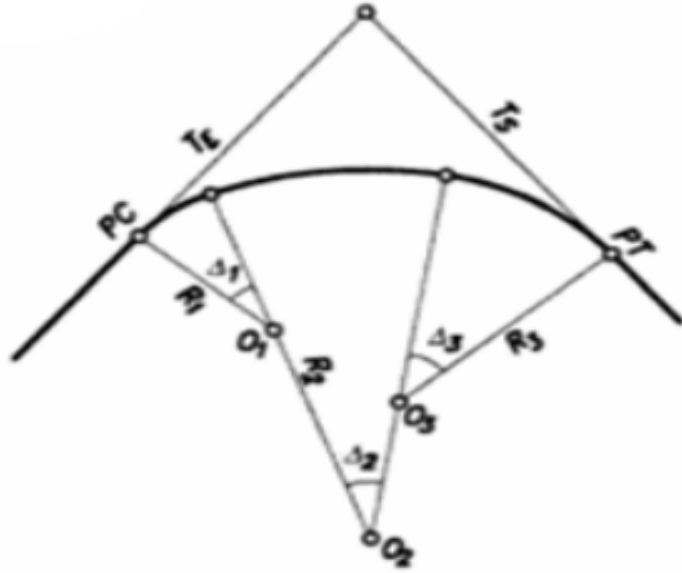
- $R_2 > R_1 > R_3$



- $R_3 > R_1 > R_2$



- $R_2 > R_3 > R_1$



- $R_3 > R_2 > R_1$



Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras.

3.1.3 Curvas en espiral

Cuando un vehículo pasa de un tramo recto a un tramo en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual en lo que respecta al cambio de dirección, al cambio de inclinación transversal y a la ampliación necesaria de la calzada.

Es por esto que es necesario emplear una curva en espiral en el momento en que el vehículo aborda la curva para que no experimente cambios bruscos en el cambio de curvatura lo cual se ve reflejado en la velocidad.

- **Curvas Espiral Clotoide.**

Es el empalme entre una línea recta y un arco circular de radio R_c . La espiral Clotoide corresponde a la espiral con más uso en el diseño de carreteras ya que sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos permiten obtener carreteras cómodas, seguras y estéticas.

La Clotoide se puede definir como un empalme tal que su radio es inversamente proporcional a su longitud, ya que el Radio de la curva, en cualquier punto de la espiral, varía con la distancia desarrollada a lo largo de la misma, manteniendo su parámetro A constante.²⁵ La ecuación fundamental de la espiral Clotoide es la siguiente:

$$L \times R = A^2 \quad \text{o también} \quad L = \frac{A^2}{R}$$

Donde:

L: Longitud desde el origen a un punto de la curva, en metros.

R: Radios en los puntos indicados, en metros.

A: Parámetro de la Clotoide, en metros.

²⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 75.

- **Elementos de la Espiral Clotoide**

- **Le:** Longitud del empalme espiral.

$$L_e = A\sqrt{2 \times \theta_e}$$

- **θ_e :** Ángulo de deflexión o ángulo al centro de la espiral.

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 \times R_c} \quad ; \theta_e \text{ en radianes}$$

$$\theta_e = \frac{L_e \times 90}{R_c \times \pi} \quad ; \theta_e \text{ en grados}$$

- **θ :** Ángulo de desviación o ángulo al centro de la espiral en un punto de la espiral ubicado a una distancia l desde el origen

$$\theta = \theta_e \times \left(\frac{l}{L_e}\right)^2$$

- **Coordenadas (x, y):** ubicadas un punto de la espiral a una distancia dada (l) desde el origen:

$$x = l \times \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \frac{\theta^8}{685440} - \dots\right) \quad ; \theta \text{ en radianes}$$

$$y = l \times \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \frac{\theta^7}{75600} + \dots\right) \quad ; \theta \text{ en radianes}$$

- Φ' : Deflexión de un punto de la espiral ubicado a una distancia (l) desde el origen y con coordenadas (X, y):

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

- **Coordenadas X_e , Y_e** : En el punto EC (CE) del empalme espiral ubicado a una distancia L_e desde el origen.

$$X_e = L_e \times \left(1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} - \frac{\theta_e^6}{9360} + \frac{\theta_e^8}{685440} - \dots \right), \theta \text{ en radianes}$$

$$Y_e = L_e \times \left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{78600} + \dots \right), \theta \text{ en radianes}$$

- ΔR : Disloque de la espiral. Valor aproximado

$$\Delta R = \frac{L_e^2}{24 \times R_C}, \text{ o también con } \Delta R = \frac{A^4}{24 \times R_C^2}$$

- Coordenadas del centro X_M , Y_M del arco circular con radio R_C

$$X_M = X_e - R_C \text{ sen } \theta_e, \theta_e \text{ en grados}$$

$$Y_M = R_C + \Delta R$$

- T_L : Longitud de la tangente larga

$$T_L = X_e - \frac{Y_e}{\tan \theta_e}$$

- T_c : Longitud de la tangente corta

$$T_c = \frac{Y_e}{\text{sen}\theta_e}$$

- Φ' : Ángulo de la cuerda larga de la espiral o deflexión total del empalme espiral

$$\varphi_e' = \arctan\left(\frac{Y_e}{X_e}\right)$$

- CL_e : Cuerda larga de la espiral total desde el origen hasta el EC

$$CL_e = \sqrt{X_e^2 + Y_e^2}$$

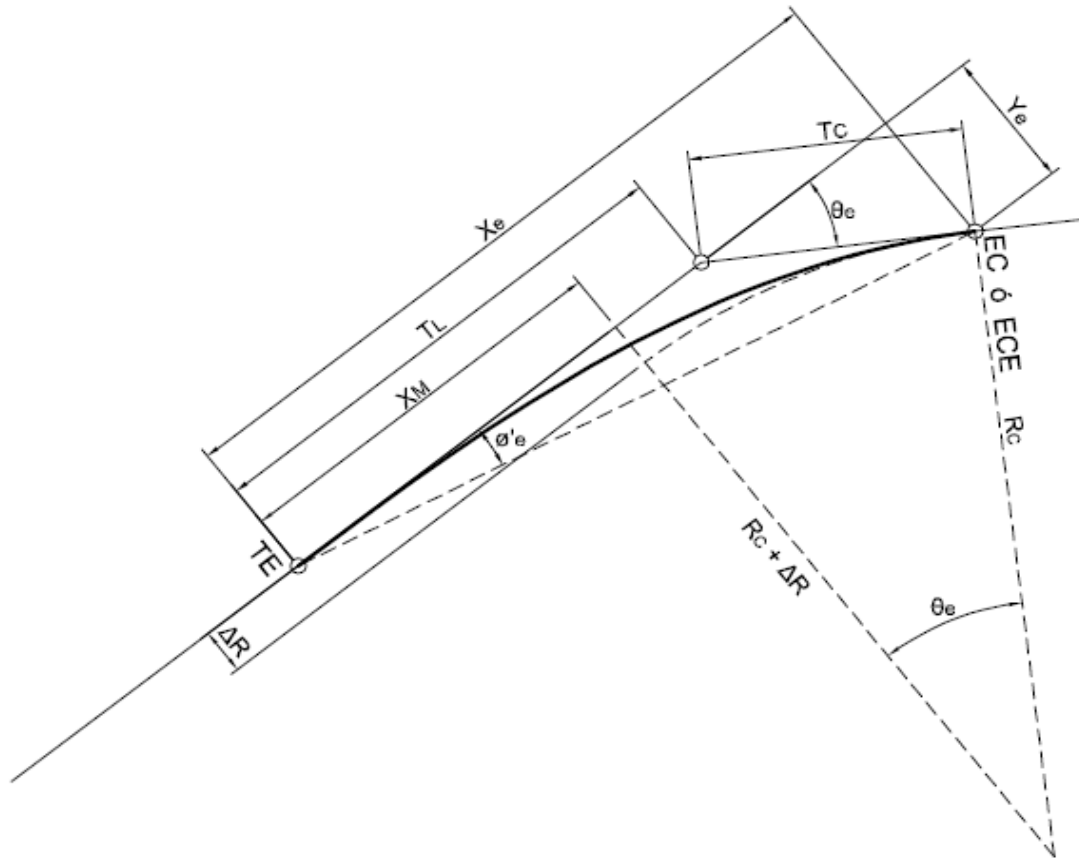
La figura 13 muestra los elementos de la Espiral Clotoide.

- **Curva Espiral – Curva – Espiral.**

Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión Δ mediante arcos de transición y un arco circular de Radio R_C . Los arcos de transición corresponden a espirales Clotoides que pueden ser de igual o diferente parámetro A , es decir la curva puede ser simétrica de igual parámetro o asimétrica de diferente parámetro A_1 y A_2 para cada espiral.²⁶

²⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 79.

Figura 13. Elementos de la Espiral Clotoide



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

▪ **Elementos de la Espiral – Curva – Espiral.**

- Δ : Deflexión en el PI o deflexión total de la curva

$$\Delta = 2\theta_e + \Delta_c$$

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

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e$$

- L_c : Longitud del tramo circular

$$L_c = \Delta_c \times R_c \quad ; \Delta_c \text{ en radianes}$$

- $L_{c \text{ min}}$: Longitud mínima del tramo circular

$$L_{c \text{ min}} = 0.886 V_{CH} \quad ; V_{CH} \text{ Velocidad Específica en Km/h}$$

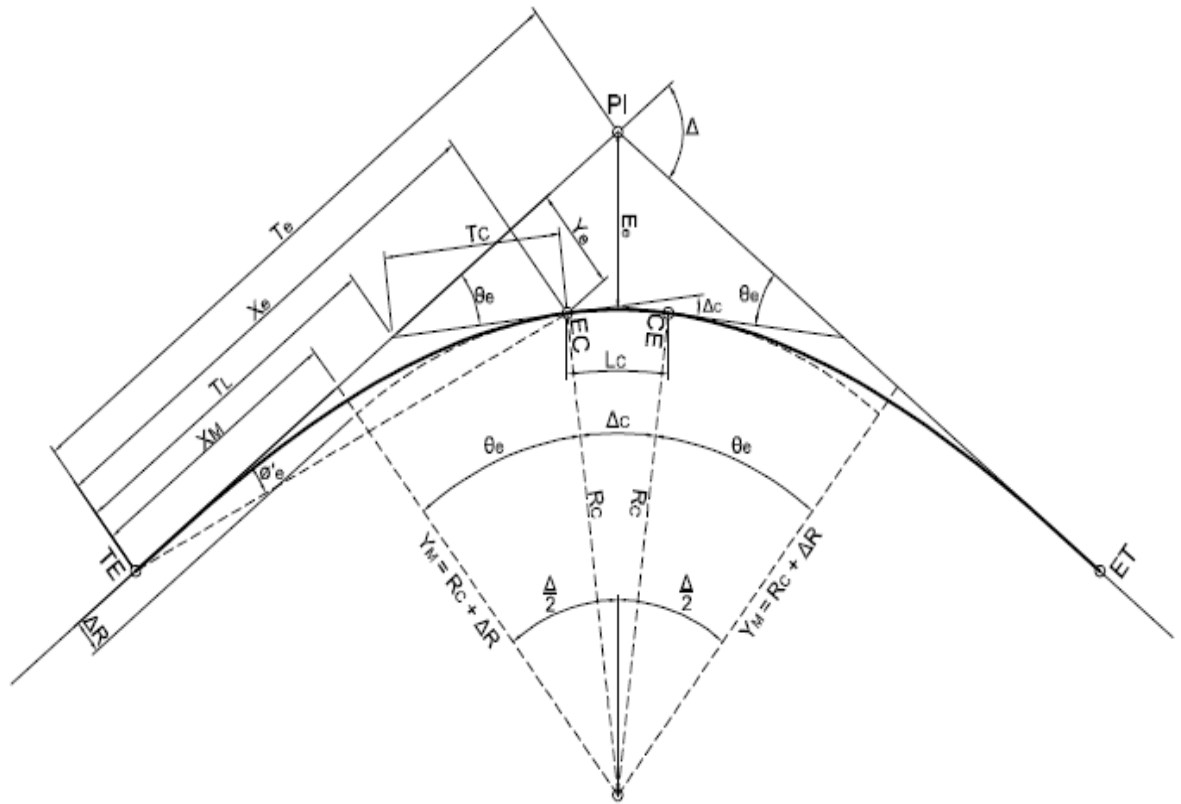
- T_e : Tangente del sistema de empalme.

$$T_e = (R_c + \Delta R) \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_M \quad ; \Delta \text{ en grados}$$

- E_e : Externa del sistema de empalme.

$$E_e = \frac{R_c + \Delta R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - R_c \quad ; \Delta \text{ en grados}$$

Figura 14. Elementos de la Espiral – Curva – Espiral



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- Δ : Deflexión en el PI o deflexión total de la curva

$$\Delta = \theta_{s1} + \theta_{s2} + \Delta_c$$

- Δ_c : Deflexión del tramo circular o ángulo al centro de la curva.

$$\Delta_c = \Delta - (\theta_{s1} + \theta_{s2})$$

- L_c : Longitud de la curva

$$L_c = \Delta_c \times R_c \quad ; \Delta_c \text{ en radianes}$$

- T_e : Tangente de la espiral

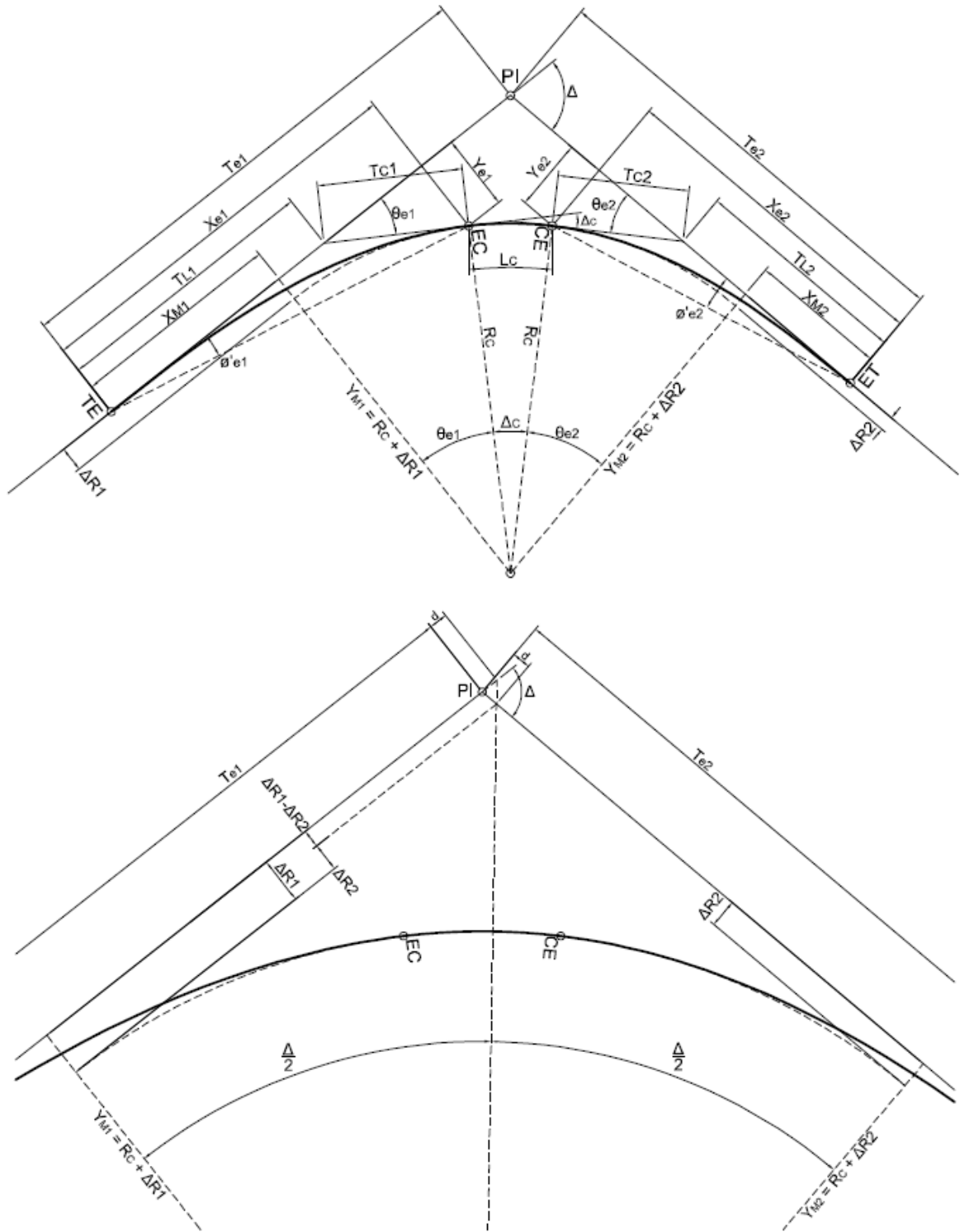
$$T_{e1} = (R_c + \Delta R1) \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_{M1} - d \quad ; \text{para } L \text{ mayor, } \Delta \text{ en grados}$$

$$T_{e2} = (R_c + \Delta R2) \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_{M2} - d \quad ; \text{para } L \text{ menor, } \Delta \text{ en grados}$$

$$d = \frac{R1 - R2}{\text{sen}\Delta} \quad ; \Delta \text{ en grados}$$

Figura 15. Elementos de la curva Espiral – Curva – Espiral asimétrica

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008



- **Curva Espiral – Espiral.**

Es la unión de dos espirales sin tramo circular y con un radio único en el centro. Puede ser simétrico o asimétrico. Los elementos de la espiral con los indicados en el numeral 3.1.3.2 Empalme Espiral-Curva-Espiral pero teniendo en cuenta:

- Para el empalme espiral – espiral simétrico:

$$\theta_{e1} = \theta_{e2} ; \text{ también } \Delta = 2\theta_e$$

- Para el empalme espiral – espiral asimétrico:

$$\Delta = \theta_{e1} + \theta_{e2}$$

Este tipo de curva está limitada a deflexiones menores de 20 grados ($\Delta < 20^\circ$). Además el ángulo θ_e de cada una de las espirales debe ser menor de 10 grado ($\theta_e < 10^\circ$). Preferiblemente utilizar curva Espiral - Espiral simétrica que asimétrica.

- **Curva en "S" (Espiral inversa)**

Es el empalme de dos arcos circulares de sentido contrario mediante dos espirales simétricas o asimétricas unidas por los lados de curvatura igual a cero, en un punto en común llamado inflexión.

Los elementos básicos de este tipo de empalme son los siguientes:

$$D = M - (R_1 + R_2)$$

Donde:

D: Distancia mínima entre los arcos circulares que se unen, en metros.

M: Distancia entre los centros de las circunferencias de radio R_1 y R_2 , en metros.

R_1 : Magnitud del radio mayor, en metros.

R_2 : Magnitud del radio menor, en metros.

- **Elementos de la Curva en "S"**

- **R:** Radio de transición, en metros.

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- **Aw:** Parámetro de transición, en metros.

$$Aw = \sqrt[4]{24 \times D \times R^3}$$

- **Le:** longitudes de las espirales para curva simétrica, en metros.

$$Le1 = \frac{Aw}{R1} ; Le2 = \frac{Aw}{R2}$$

- Para la construcción de la curva se calculan los siguientes valores:

$$Y_{M1} = R_1 + \Delta R_1$$

$$Y_{M2} = R_2 + \Delta R_2$$

$$\sum Y_M = Y_{M1} + Y_{M2}$$

$$\sum X_M = X_{M1} + X_{M2}$$

$$M^2 = (\sum X_M)^2 + (\sum Y_M)^2$$

$$s = \arctan\left(\frac{\sum X_M}{\sum Y_M}\right)$$

$$E = (R_1 + \Delta R_1) \times \tan s - X_{M1} \text{ , o también}$$

$$E = X_{M2} - (R_2 + \Delta R_2) \times \tan s$$

Finalmente se calcula el valor D

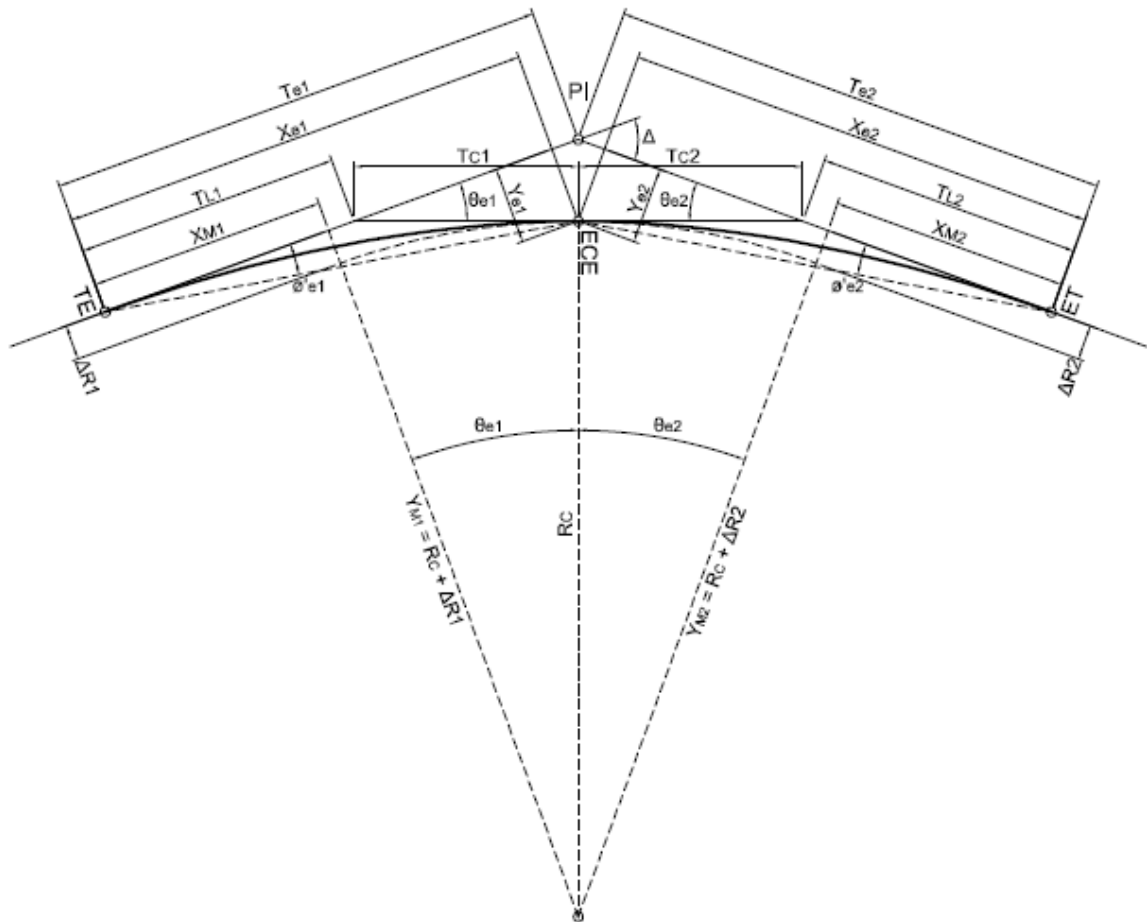
$$D = M - (R_1 + R_2)$$

- **Elementos de la Curva en "S" asimétrica.**

Para $A_2 \leq 200$ se cumple que $A_1 \leq 1.2 A_2$

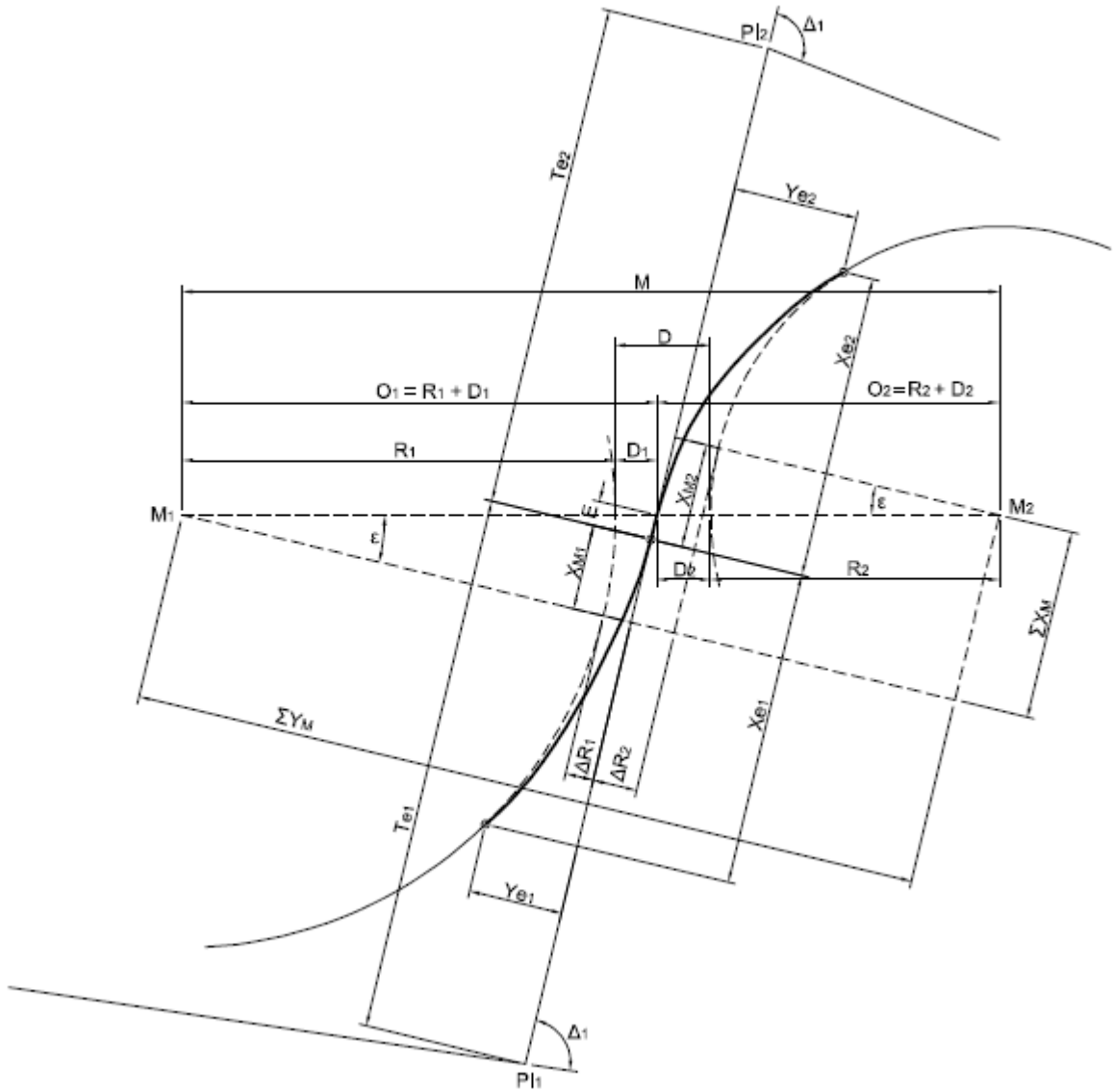
Siendo a A_2 el parámetro de la espiral con mayor radio y A_1 el parámetro de la espiral con radio menor.

Figura 16. Elementos de la curva Espiral –Espiral



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 17. Elementos de la curva en "S"



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

3.2 ESTABILIDAD EN LA MARCHA

Con el propósito de proporcionar seguridad, eficiencia y un diseño balanceado entre los elementos de la vía desde el punto de vista geométrico y físico, es fundamental estudiar la relación existente entre la velocidad y la curvatura.

Cuando el vehículo circula sobre la curva horizontal, actúa sobre él una fuerza centrífuga F que tiende a desviarlo radialmente hacia fuera de su trayectoria normal.

La magnitud de la fuerza es:

$$F = m \times a$$

Donde: m: Masa del vehículo.

a: Aceleración radial, dirigida hacia el centro de la curva.

La masa m y la aceleración radial a son iguales a:

$$m = \frac{W}{g} \quad a = \frac{V^2}{R}$$

Donde: W: Peso del vehículo.

g: Aceleración de la gravedad.

V: Velocidad del vehículo.

R: Radio de la curva circular horizontal.

Por lo tanto

$$F = \frac{WV^2}{gR}$$

En esta última expresión se puede ver que para un mismo radio R , la fuerza centrífuga F es mayor si la velocidad V es mayor, por lo que el efecto centrífugo es más notable.

La **fuerza de fricción** desarrollada entre las llantas y el pavimento, no es suficiente para impedir el desplazamiento transversal; por lo tanto, será necesario buscarle un complemento inclinado transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina **peralte**.

Para la situación anterior, las componentes normales de las fuerzas W y F son siempre del mismo sentido y se suman, actuando hacia el pavimento, lo cual contribuye a la estabilidad del vehículo. Contrario a esto, las componentes paralelas W y F son de sentido opuesto y su relación hace variar los efectos que se desarrollan sobre el vehículo.

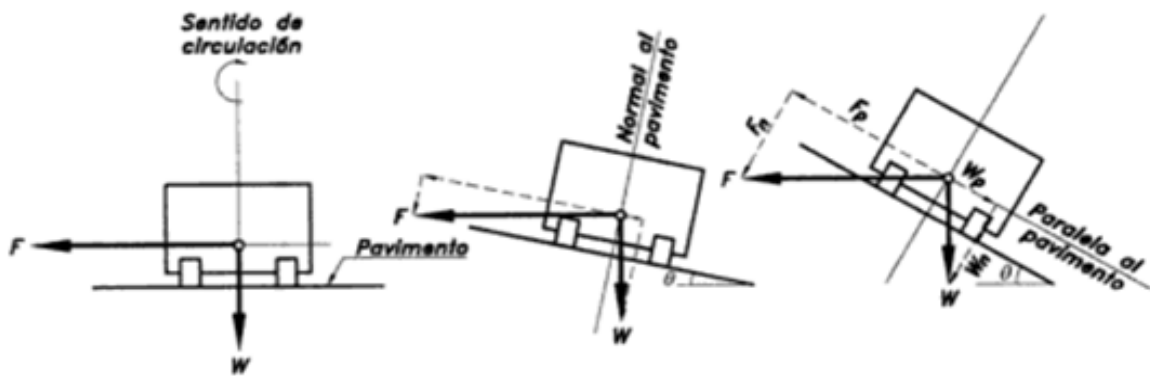


Figura 18. Efecto de la inclinación transversal de la calzada circulando en curva.

Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras

Las componentes normales y paralelas de las fuerzas W y F se definen como:

W_n, F_n = Componentes normales al pavimento.

W_p, F_p = componentes paralelas al pavimento.

Dichas componentes presentan casos diferentes

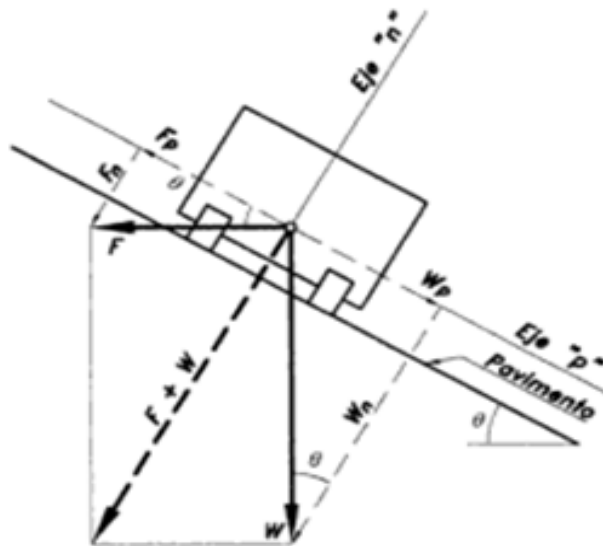
- **Caso 1: $W_p=0$**

La calzada es horizontal, esto es, no hay inclinación transversal y F_p alcanza su valor máximo F .

- **Caso 2: $W_p=F_p$**

En este caso, la fuerza resultante $F+W$ es perpendicular a la superficie del pavimento. Por lo tanto, la fuerza centrífuga F no es sentida en el vehículo. La velocidad a la cual se produce este efecto se le llama *velocidad de equilibrio*.

Figura 19. Caso 2. $W_p=F_p$

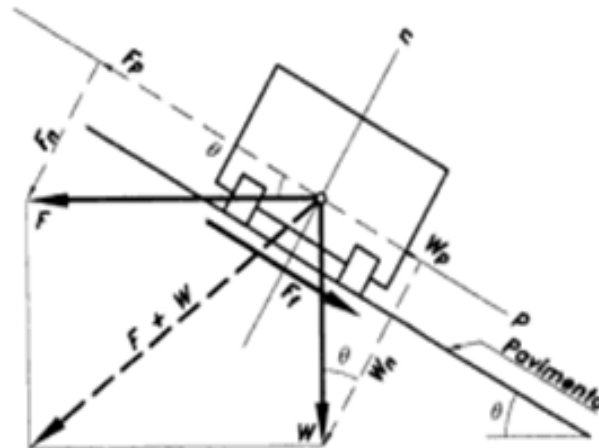


Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras

- **Caso 3: $W_p < F_p$**

En este caso, la fuerza resultante $F+W$ actúa en el sentido de la fuerza centrífuga F . Por lo tanto el vehículo tiende a deslizarse hacia el *exterior* de la curva, pues se origina un momento en sentido contrario al movimiento contrario a las agujas del reloj. Volcamiento de este caso es típico en vehículos *livianos*.

Figura 20. Caso 2. $W_p < F_p$

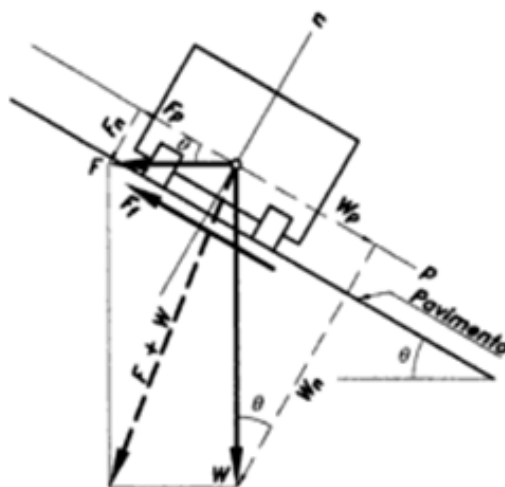


Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras

- **Caso 4: $W_p > F_p$**

En este caso, la fuerza $F+W$ actúa en el sentido contrario de la fuerza centrífuga F . Por lo tanto, el vehículo tiende a deslizarse hacia el *interior* de la curva. Volcamiento de este caso es típico en vehículos *pesados*.

Figura 21. Caso 2. $W_p > F_p$



Fuente: CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras

3.3 PERALTE

3.3.1 Para carreteras Primarias y Secundarias

En este tipo de vías se establece como peralte máximo 8%, el cual no permite incomodar a los vehículos especialmente a los que vehículos articulados los cuales pueden tener un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con peraltes muy altos.²⁷

3.3.2 Para carreteras Terciarias

El peralte máximo para este tipo de carreteras es de 6% debido a que es difícil disponer de longitudes de entretangencia amplias especialmente en terreno montañoso y escarpado por lo que no es fácil hacer la transición de peralte.²⁷

²⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 103.

3.4 FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA

Está determinada por factores como la velocidad del vehículo, la superficie de rodadura y el tipo de vehículo. Se toman los valores indicados en la tabla 10 según estudios recientes de la AASHTO²⁸

Tabla 10. Coeficiente de fricción transversal máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA V _{CH} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA f _{Tmáx}	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

3.5 RADIO DE CURVATURA MÍNIMO (R_{Cmin})

Es el valor límite de curvatura para una Velocidad Específica (V_{CH}) de acuerdo con el peralte máximo (e_{máx}) y el coeficiente de fricción transversal máxima (f_{Tmáx}). El radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores.²⁹

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

²⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 103.

²⁹ Ibid., p. 104

Tabla 11. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 8\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{CH}) (Km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8.0	0.23	0.31	40.6	41
50	8.0	0.19	0.27	72.9	73
60	8.0	0.17	0.25	113.4	113
70	8.0	0.15	0.23	167.8	168
80	8.0	0.14	0.22	229.1	229
90	8.0	0.13	0.21	303.7	304
100	8.0	0.12	0.20	393.7	394
110	8.0	0.11	0.19	501.5	501
120	8.0	0.09	0.17	667.0	667
130	8.0	0.08	0.16	831.7	832

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Tabla 12. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx}=6\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{CH}) (Km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6.0	0.35	0.41	7.7	15
30	6.0	0.28	0.34	20.8	21
40	6.0	0.23	0.29	43.4	43
50	6.0	0.19	0.25	78.7	79
60	6.0	0.17	0.23	123.2	123

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

3.6 TRANSICIÓN DEL PERALTE

Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior el pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva.

La longitud de transición está constituida por dos tramos principales:

1. La distancia (N) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamado aplanamiento.

2. La distancia (L) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular.³⁰

La longitud total de transición se define mediante la siguiente expresión

$$L_t = L + N$$

$$N = \frac{BN \times L}{e_f}$$

- Donde:
- Lt: Longitud total de transición, en metros.
 - L: Longitud del punto donde el peralte es cero al punto del peralte total en la curva circular, en metros.
 - N: Aplanamiento, en metros.
 - BN: Bombeo normal (vía pavimentada BN = 2%)
 - e_f: Peralte total, en porcentaje (%).

3.6.1 Rampa de peralte.

Se define la rampa de peralte como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma.³⁰

Se determina por:

$$\Delta s = a \times \left(\frac{e_f - e_t}{L} \right)$$

³⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 108.

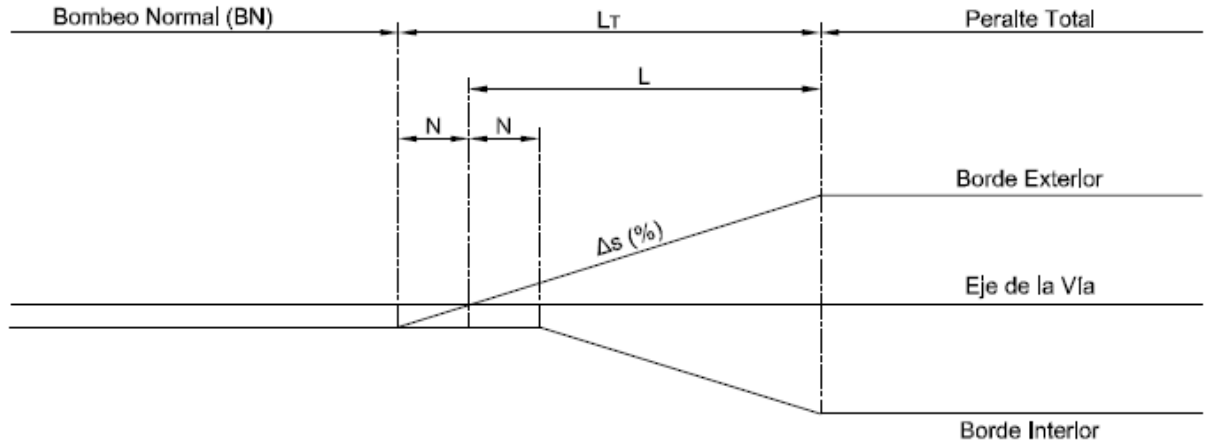
- Donde:
- Δ_s : Inclínación longitudinal de la rampa de peraltes, en porcentaje (%)
 - L: Longitud de transición, $L = L_t - N$, en metros.
 - e_f : Peralte al finalizar el tramo de transición o peralte total, en porcentaje (%).
 - e_i : Peralte al iniciar el tramo de transición, en porcentaje (%).
 - a: Distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, en metros.

Para los valores de “a” se debe tener en cuenta el número de carriles que giran alrededor del eje de giro y el tipo de rotación. Para curvas circulares compuestas e_i es igual al peralte de la curva inicial y e_f el peralte de la curva siguiente, para curvas espiralizadas o circulares simples e_i es igual a 0% y e_f el peralte total en la curva circular.

Estos valores de la inclinación de la rampa garantiza no solamente la comodidad de la marcha de los vehículos, sino una adecuada apariencia de la carretera y cualquiera que sea el sistema para conformar peralte total, no deben ser excedidos.³¹

³¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 109.

Figura 22. Desarrollo del peralte



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

3.6.2 Longitud de transición.

La longitud de transición (L) se calcula de acuerdo a $L_t = L + N$, rampa de peralte de donde se puede obtener el valor de la longitud de transición (L) en función de la inclinación relativa de la rampa de peraltes (Δs), del ancho de la calzada que gira (a) y los cambios de peralte e_f , e_i , variables ya definidas³², por lo tanto la expresión de cálculo es:

$$L = a \times b_{gr} \times \left(\frac{e_f - e_i}{\Delta s} \right)$$

O también

$$a = W \times n$$

- Donde
- L: Longitud de transición, en metros.
 - $e_f - e_i$: Cambio de peralte, en porcentaje (%).
 - a: Ancho de la calzada que gira, en metros.

³² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 110.

- b_w : Factor de ajuste debido al número de carriles que giran.
- Δs : Inclinação relativa de la rampa de peraltes.
- W : Ancho del carril, en metros.
- n : Número de carriles que giran.

El valor de los elementos de transición que hacen parte de la expresión anterior se definen al seleccionar los peraltes y el ancho de la sección transversal en la curva, el valor de Δs se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 13. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

VELOCIDAD ESPECÍFICA (VCH) (Km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES ΔS	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1xa
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.6	
70	0.55	
80	0.55	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

El valor del ancho de calzada que gira (a) es igual a ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que 1 es conveniente el uso de un factor de ajuste b_w para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro.³³


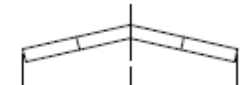
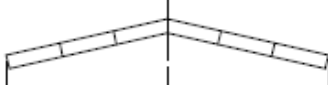

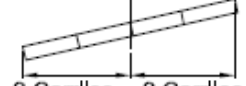
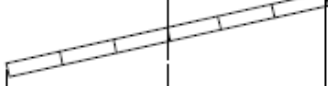
³³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 111.

Tabla 14. Factor de ajuste para el número de carriles girados

NÚMERO DE CARRILES QUE GIRAN (n)	FACTOR DE AJUSTE (bw)	INCREMENTO EN LOS CARRILES DE GIRO RESPECTO A UN CARRIL GIRADO
1.00	1.00	1.00
1.50	0.83	1.25
2.00	0.75	1.50
2.50	0.70	1.75
3.00	0.67	2.00
3.50	0.64	2.25

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 23. Disposición de los carriles que giran con respecto a su eje de rotación

Rotación de un (1) carril	Rotación de dos (2) carriles	Rotación de tres (3) carriles
 <p>Carril Carril</p> <p>Sección en Bombeo</p>	 <p>2 Carriles 2 Carriles</p> <p>Sección en Bombeo</p>	 <p>3 Carriles 3 Carriles</p> <p>Sección en Bombeo</p>
 <p>Carril Carril girado</p> <p>Sección glrada</p>	 <p>2 Carriles 2 Carriles glrados</p> <p>Sección glrada</p>	 <p>3 Carriles 3 Carriles glrados</p> <p>Sección glrada</p>

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

▪ **Transición de peralte en curva circular**

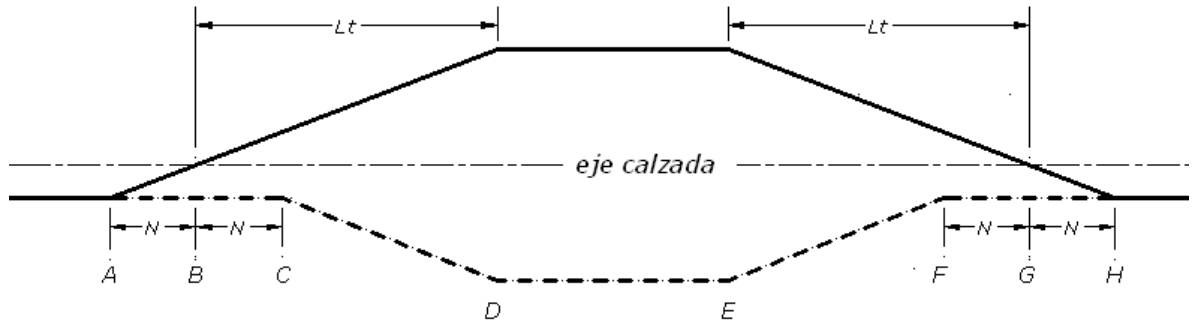
En curvas circulares sin espirales se pueden presentar dos posibilidades.

1. Cuando hay suficiente entretangencia, la transición de peralte se debe desarrollar en la tangente.

2. Cuando no hay suficiente espacio en las tangentes entre curvas, se debe realizar la transición una parte en la tangente y el resto dentro de la curva.

Para el segundo caso, el peralte en PC y/o en el PT debe estar entre 60% y 80% del peralte total, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con peralte total.³⁴

Figura 24. Diagrama de transición de peralte en curva circular



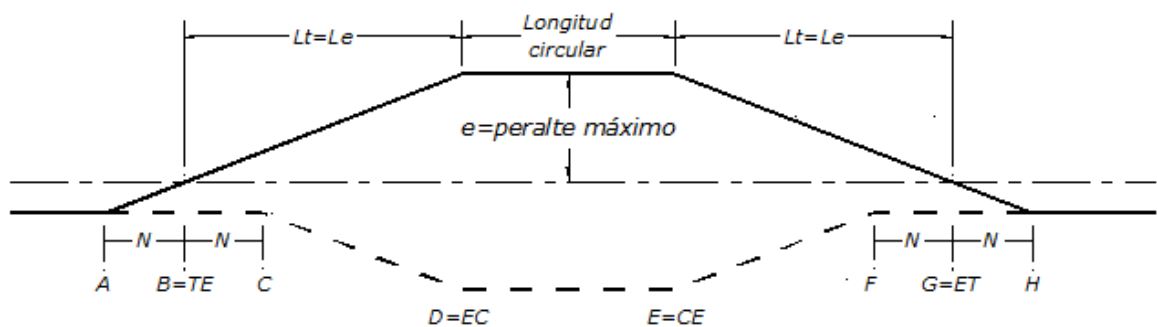
PUNTO	VALOR ABCISA	
	Lt en tramo recto	1/3 Lt en la curva
A	$PC - Lt - N$	$PC - 2Lt/3 - N$
B	$A + N$	$A + N$
C	$B + N$	$B + N$
D	PC	$PC + Lt/3$
E	PT	$PT - Lt/3$
F	$PT + Lt - N$	$PT + 2Lt/3 - N$
G	$F + N$	$F + N$
H	$G + N$	$G + N$

³⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 112.

- **Transición en la espiral de una curva**

Para terrenos ondulado, montañoso y escarpado, la transición de peralte corresponde a la longitud de la espiral $L_e = L$ mas la distancia de aplanamiento (N). Para terrenos planos con uso de espirales cuyo radio y longitud sea alto, la longitud de la espiral puede incluir las dos longitudes de la transición ($L_e = L + N$).³⁵

Figura 25. Diagrama de transición de peralte en la espiral de una curva.



PUNTO	VALOR ABSCISA	
	Curva	Curva
	Espiral – Circular - Espiral	Espiral – Espiral
A	TE - N	TE - N
B	TE	TE
C	TE + N	TE + N
D	EC	EE - Dc/2
E	CE	EE + Dc/2
F	ET - N	ET - N
G	ET	ET
H	ET + N	ET + N

³⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 112.

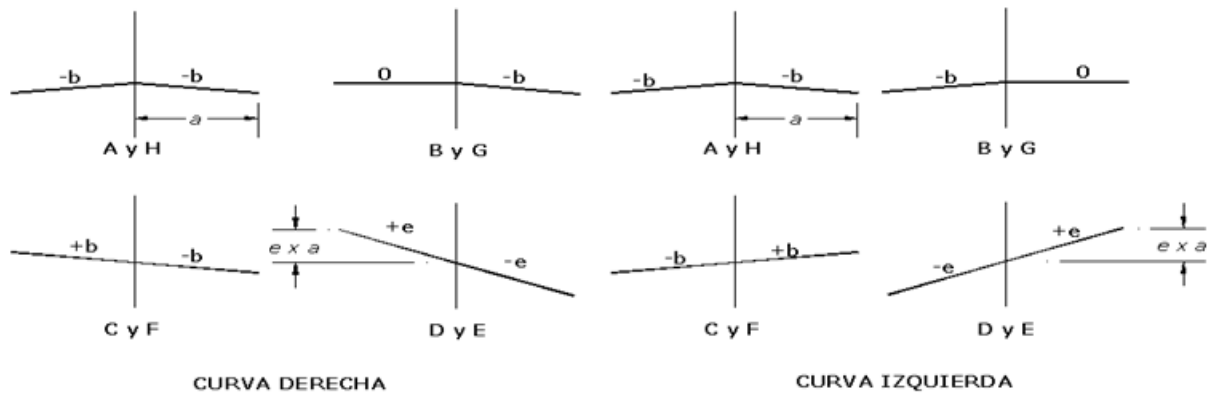
3.6.3 Métodos para realizar la transición del peralte

- **Rotación de la calzada respecto al eje de la carretera**

Este es el método más empleado en el diseño de carreteras, porque permite un desarrollo más armónico y genera menor distorsión de los bordes de la corona.³⁶

Consiste en girar el pavimento de la calzada alrededor de su línea central.

Figura 26. Calzada girada alrededor del eje



- **Rotación de la calzada respecto al eje de la carretera**

Este procedimiento se utiliza en el diseño de carreteras multicarriles con separador central y en el diseño de las calzadas en las intersecciones. Se utiliza para facilitar las condiciones de drenaje en las calzadas de una vía con separador central o para proporcionar una adecuada apariencia y ajuste entre las pendientes transversales de las calzadas en las intersecciones.³⁶

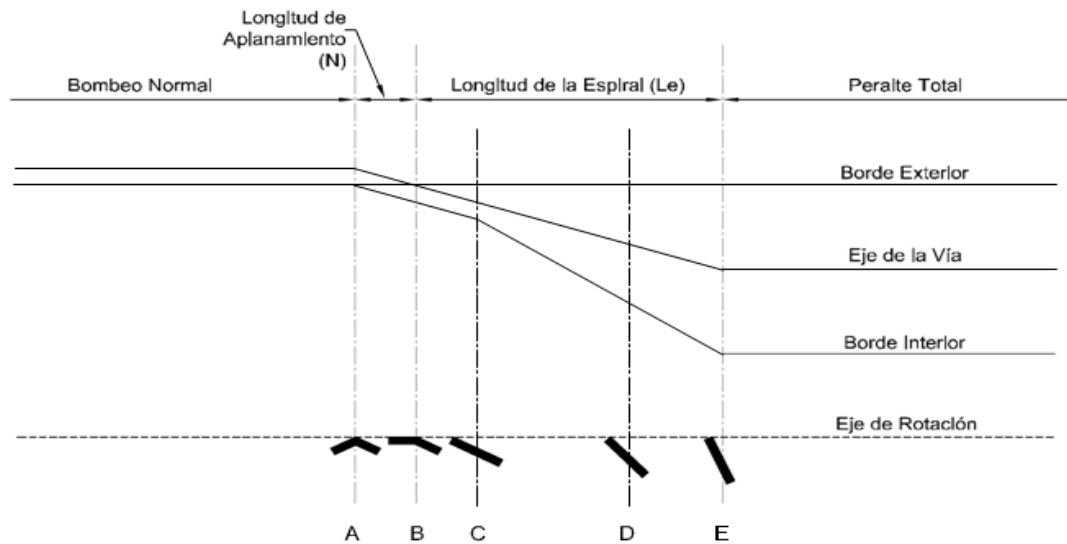
Se presentan dos casos:

- a. Calzada girada alrededor del borde interior.**
- b. Calzada girada alrededor del borde exterior.**

³⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 113.

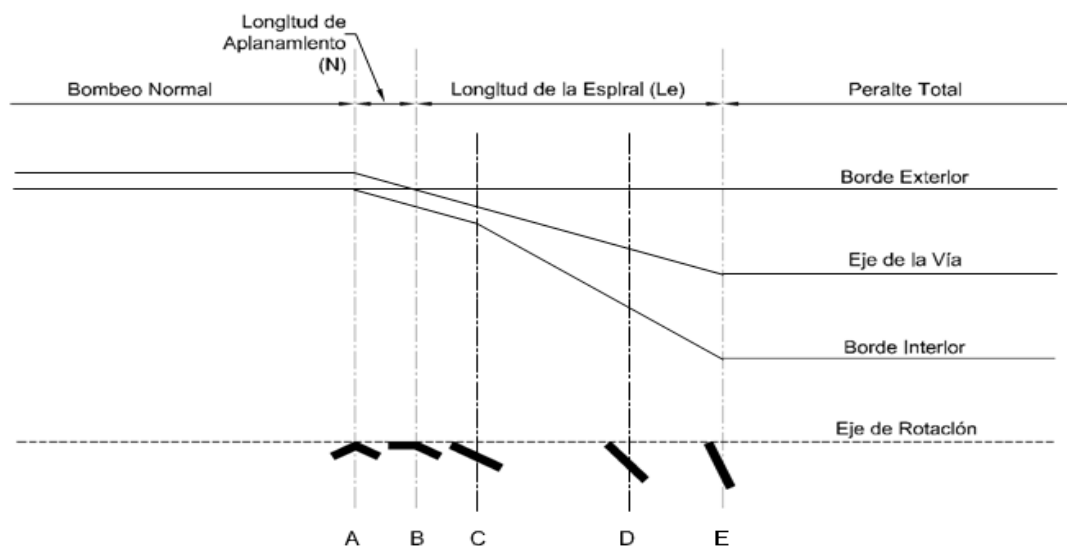
Cada uno de los casos mencionados anteriormente se realizan de forma gráfica y se ilustran en las figuras 17 y 18 respectivamente.

Figura 27. Calzada girada alrededor del borde interior.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 28. Calzada girada alrededor del borde exterior.



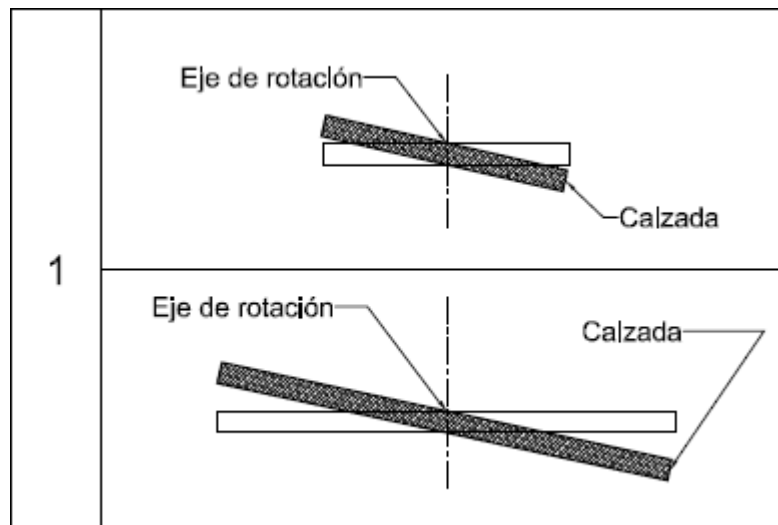
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Rotación en carreteras de dos calzadas**

En el diseño de carreteras con doble calzada, la inclusión de un separador en la sección transversal afecta en cierta forma el tratamiento del desarrollo del peralte.³⁷

Existen tres métodos generales del desarrollo de peraltes, dependiendo del ancho del separador y de la sección transversal, estos son:

Figura 29. Rotación en el eje de la calzada



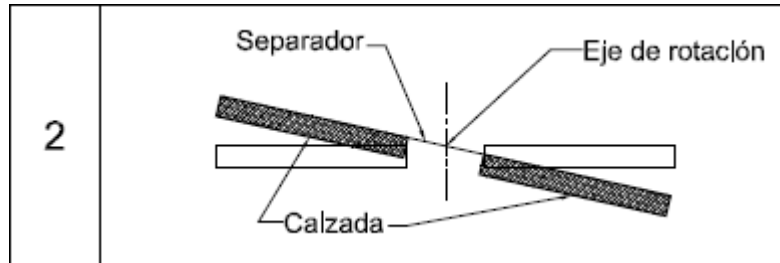
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Método A.** La totalidad de la vía incluyendo el separador, es peraltado como una sola sección plana. Este caso es necesariamente limitado a separadores estrechos del orden de uno a dos metros (1 m – 2 m) y moderadas tasas de peralte máximo, para evitar grandes diferencias en

³⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 115.

la elevación de los bordes extremos del pavimento a causa de la inclinación del separador.

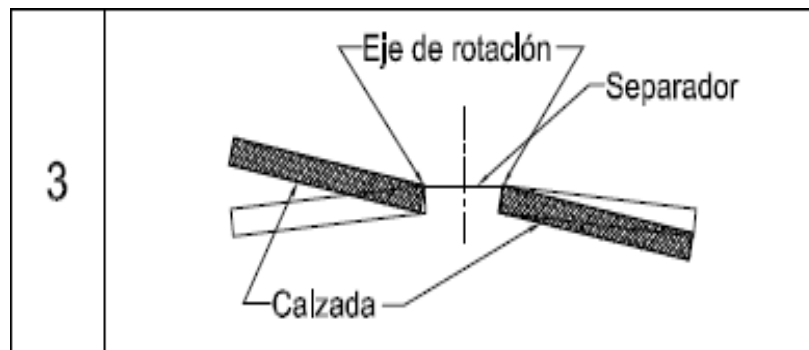
Figura 30. Método A del desarrollo de peralte



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Método B.** El separador es mantenido en un plano horizontal y las dos calzadas en forma separada son rotadas alrededor de los bordes del separador. Se aplica para anchos mayores del separador, hasta del orden de diez metros (10 m), sosteniendo los bordes del separador central a nivel. El desarrollo del peralte para este caso se hace con los bordes del separador como perfil de control, en el cual una calzada es rotada alrededor de su borde derecho y la otra alrededor de su borde izquierdo.

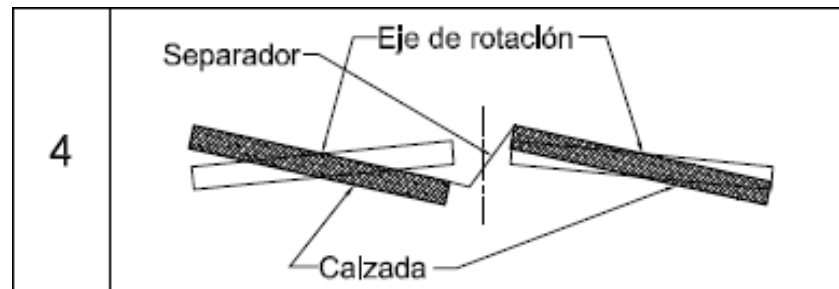
Figura 31. Método B del desarrollo de peralte



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Método C.** Para el desarrollo del peralte, las calzadas son tratadas en forma separada, con una diferencia variable de la elevación de los bordes del separador central. Este caso se aplica para anchos de separadores intermedios mayores a 5 metros, en los que las diferencias de elevación de los bordes de la calzada son mínimas.

Figura 32. Método C del desarrollo de peralte



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

3.7 LONGITUD DE LA CURVA ESPIRAL

3.7.1 Longitud mínima

La longitud mínima de la espiral se puede definir mediante el parámetro mínimo de la Clotoide, el cual se establece con base en el estudio y análisis de tres criterios relacionados con la seguridad y comodidad del usuario de la vía. El valor del parámetro de diseño, se tomará de acuerdo con la envolvente superior de los valores determinados para cada uno de los criterios establecidos.³⁸

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

³⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 117.

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{V_{CH} \times R_C}{46.656 \times J} \left[\frac{V_{CH}^2}{R_C} - (1.27 \times e) \right]}$$

- Donde:
- A_{\min} : Parámetro mínimo, en metros.
 - V_{CH} : Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.
 - R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 - J : Variación de la aceleración centrífuga, en m/s³.
 - e : Peralte de la curva, en porcentaje (%).

Los valores de J se presentan en la siguiente tabla

Tabla 15. Variación de la aceleración centrífuga (J)

VCH (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J (m/s²)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Criterio II.** Limitación por transición del peralte, en la determinación de los valores del parámetro mínimo. Se tendrá en cuenta la inclinación máxima permitida de la rampa de peraltes (Δs). Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de 3.0 m, 3.30 m, 3.50 m y 3.65 m.

$$A_{\min} = \sqrt{R_C \times \frac{e \times a}{\Delta s}}$$

- Donde:
- A_{\min} : Parámetro mínimo, en metros.
 - R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 - e : Peralte de la curva, en porcentaje (%).
 - a : Distancia del eje de giro al borde de la calzada, en metros.
 - s : Inclinación de la rampa de peraltes, en porcentaje (%).

- **Criterio III.** Condición de percepción y de estética, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura.

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

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

$$A_{\min} = \sqrt[4]{24 \times \Delta R \times R_C^3} \quad ; \quad A_{\min} \geq \sqrt[4]{6 \times R_C^3}$$

Donde: A_{\min} : Parámetro mínimo, en metros.
 R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 ΔR : Disloque de la clotoide, en metros.

- **Criterio III.2.** Ángulo de giro de la espiral mínimo de 3°.

$$A_{\min} = 0.3236 \times R_C$$

Donde: A_{\min} : Parámetro mínimo, en metros.
 R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 L_e : Longitud de la clotoide, en metros.

3.7.2 Longitud máxima

El valor máximo del parámetro (A_{\max}), debe ser igual a 1.1 el Radio (R_C) de la curva en estudio.³⁹

$$A_{\max} = 1.1 \times R_C$$

³⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 119.

3.8 ENTRETANGENCIA HORIZONTAL

3.8.1 Entretangencia mínima

- **Para curvas en 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 a la menor de las Velocidades Específicas (VCH) de las curvas adyacentes a la entretangencia en estudio.⁴⁰

- **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 a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH). Para diseños con curvas circulares, especialmente en terreno plano, la entretangencia no puede ser menor al espacio recorrido en un tiempo no menor de 15 segundos a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH).⁴¹

3.8.2 Entretangencia máxima

Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (Da), 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 15 veces la Velocidad

⁴⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 119.

⁴¹ Ibid., p 120.

Específica de la entretangencia horizontal (VETH) expresada en Km/h. Este criterio se aplica de igual forma para curvas de igual sentido como para curvas de diferente sentido.⁴²

3.9 LONGITUD MÍNIMA DE LA CURVA CIRCULAR

Para ángulos de deflexión entre tangentes menores o iguales a 6°, en el caso de que no se puedan evitar, se realizará la unión de las mismas mediante una curva circular simple de tal forma que se cumplan los criterios indicados en la siguiente tabla los cuales definen la longitud mínima de las curvas circulares.

Tabla 16. Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos

ÁNGULO ENTRE ALINEAMIENTOS	6°	5°	4°	3°	2°
RADIO MÍNIMO (m)	2000	2500	3500	5500	900

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

En las curvas espiralizadas que tiene tramo circular se reitera la necesidad de limitar la longitud de dicho tramo con la distancia recorrida a la Velocidad Específica (VCH) durante 2 segundos.

⁴² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 120.

4. DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA

El alineamiento vertical está formado por una serie de rectas enlazadas por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, 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 los ascensos.

El alineamiento vertical y el alineamiento horizontal deben ser consistentes y balanceados 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.⁴³

4.1 TANGENTE VERTICAL

4.1.1 Pendiente mínima

La pendiente mínima longitudinal nos debe garantizar el fácil escurrimiento de las aguas lluvia en la superficie y en las cunetas. Para que funcione en optimas condiciones, la cuneta debe tener como mínimo una pendiente de 0.5% y en terreno plano o en sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable se hace con 0.3%. En el momento de la selección de uno de los dos valores, para tener el criterio de hacerlo se debe tener un estudio hidrológico, separación de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.⁴⁹

⁴³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 127.

4.1.2 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 60 y 130 km/h. En las vías terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre 20-60 km/h, en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y superficie de rodadura son las condiciones dominantes.⁴⁴

Para la selección de la pendiente máxima se deben tener en cuenta dos situaciones. La primera, cuando durante el desarrollo de los estudios para la definición del tramo vial, que se lleva a cabo en la Fase 1 del proyecto, se requiere adoptar la pendiente Media Máxima del tramo (P_{Mmax}). En la Tabla 17 se presentan los valores correspondientes.

La segunda situación está asociada a la selección de la pendiente máxima, donde ésta es función de la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}). En la siguiente tabla se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}).

Estos valores indicados en la Tabla 18 corresponden a los valores máximos para una tangente vertical, pueden ser aumentados en 2% cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa.

⁴⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 127.

Tabla 17. Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (%) en función de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR})

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 18. Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})

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

Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el PTV de la curva anterior coincide con el PCV de la siguiente.

En conclusión toda la longitud desde el PIV al PIV, está cubierta por la rama de salida de la curva vertical anterior y por la rama de entrada de la curva vertical siguiente.⁴⁵

4.1.3 Longitud mínima.

En tangentes verticales con Velocidad Específica menor o igual a 40 Km/h ($V_{TV} \leq 40$ Km/h) será equivalente a la distancia recorrida en 7 segundos a dicha velocidad, medida como proyección horizontal, de PIV a PIV.

Las tangentes verticales con Velocidad Específica mayor a 40 Km/h ($V_{TV} > 40$ Km/h) no podrán tener una longitud menor a la distancia recorrida en 10 segundos a dicha velocidad, longitud que debe ser medida como proyección horizontal entre PIV y PIV.⁴⁴

Tabla 19. Longitud mínima de la tangente vertical

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

⁴⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 129.

4.1.4 Longitud máxima.

- **Longitud crítica de la tangente vertical**

Se define como la máxima longitud en ascenso sobre la cual un camión puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Para establecer éstos parámetros es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Relación peso/potencia del vehículo pesado de diseño.
- Velocidad media de operación de los vehículos pesados en tramos a nivel de la carretera que se diseña.
- La velocidad media de operación de los vehículos pesados se estima con base en los resultados del estudio de tránsito y de la geometría de la vía.
- Pérdida aceptable de velocidad de los vehículos pesados en la tangente vertical.

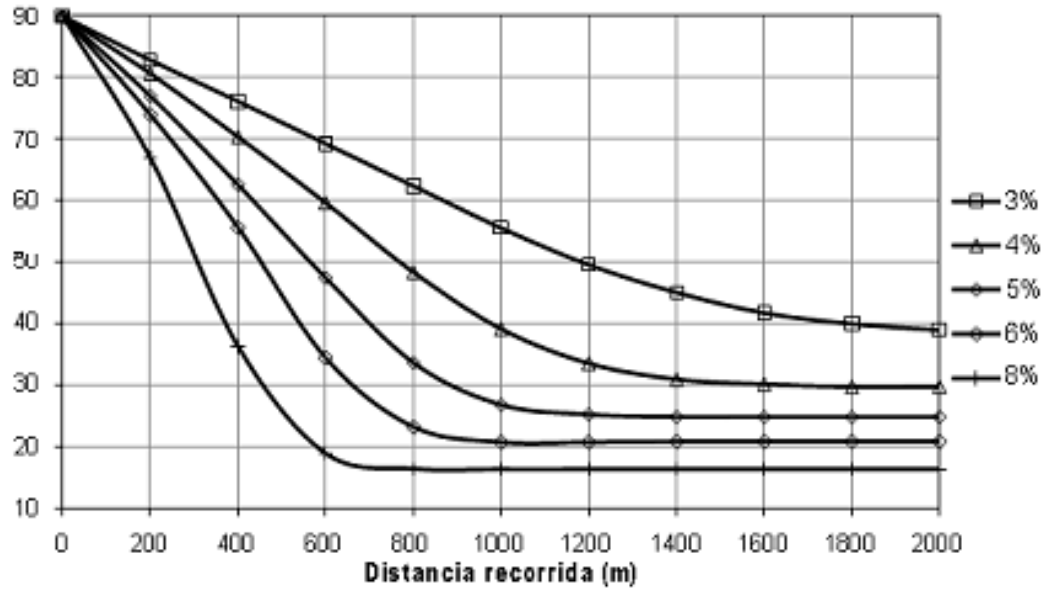
Se considera que la longitud crítica de la tangente vertical es aquella en la que el vehículo pesado seleccionado para el diseño sufre una reducción en su velocidad de 25 km/h con respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.

Las características de los vehículos en carreteras colombianas, en promedio, se pueden asimilar a las siguientes relaciones Peso/potencia:

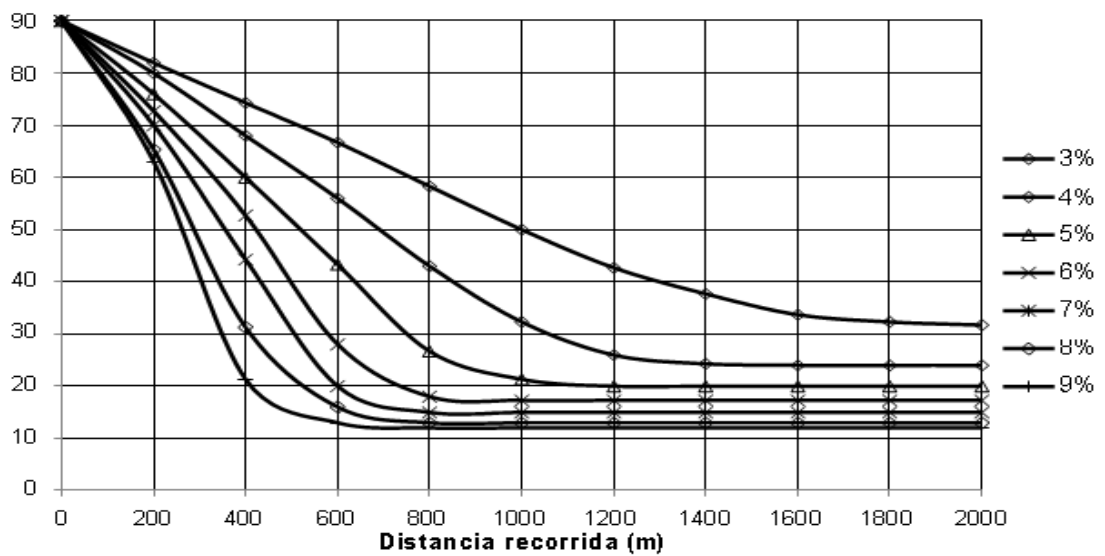
- Camiones de chasis rígido (Categoría 2 y Categoría 3): 150 kg/HP.
- Camiones articulados (Categoría 352 y Categoría 353): 180 kg/HP.

Con las siguientes curvas es posible determinar la longitud crítica.

**Figura 33. Efecto de las pendientes en los vehículos con relación
Peso/potencia de 150 kg/HP**



**Figura 34. Efecto de las pendientes en los vehículos con relación
Peso/potencia de 180 Kg/HP**



- **Pendiente de la tangente vertical siguiente a la de longitud crítica**

La pendiente recomendable para que el vehículo pesado alcance a recuperar la velocidad inicial que tenía antes de entrar a la tangente de longitud crítica, es de 1% en una longitud igual o mayor a la longitud crítica anteriormente superada.

En la Figura 34 y en la Figura 35 se presentan las curvas de pérdida de velocidad en función de la pendiente del tangente vertical para los vehículos con las relaciones Peso/potencia arriba mencionadas. Con dichas curvas es posible determinar la distancia en la que un vehículo que inicia el recorrido de una tangente vertical pierde 25 km/h respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña. Tal distancia, como ya se manifestó, corresponde a la longitud crítica.

4.2 CURVAS VERTICALES

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

El punto común de una tangente y una curva vertical en su origen se denomina PCV, y PTV al punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le designa como PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra "A".

4.2.1 Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales se pueden clasificar según su forma, ya sean curvas verticales cóncavas o curvas verticales convexas y de acuerdo con sus ramas que la forman como simétricas y asimétricas.

Figura 35. Curvas Verticales Convexas

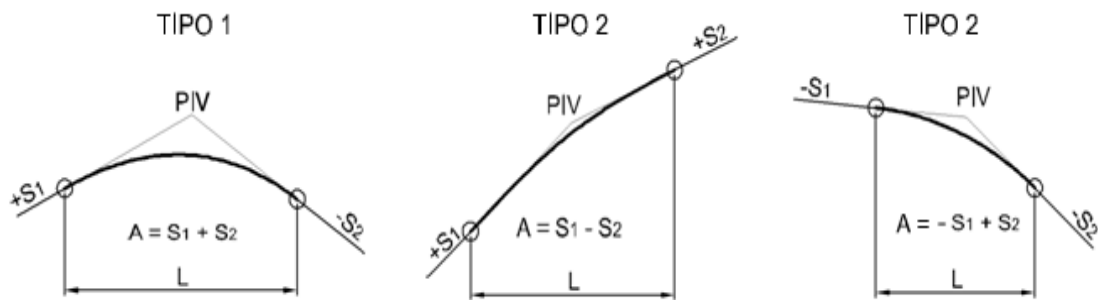
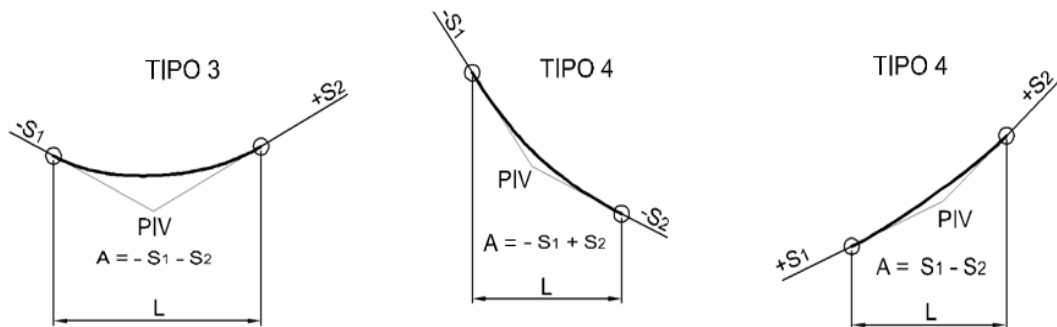


Figura 36. Curvas Verticales Cóncavas



S1: Pendiente de entrada

S2: Pendiente de salida

A: Diferencia de pendientes

L: Longitud de la curva

K: Variación por unidad de pendiente, donde

$$K = L / A$$

4.2.2 Descripción y cálculo de los elementos geométricos.

- Elementos geométricos de la curva vertical simétrica

La curva vertical simétrica está conformada por dos parábolas de igual longitud, que se unen en la proyección vertical del PIV. La curva vertical recomendada es la parábola cuadrática.

Figura 37. Curvas Verticales Simétricas

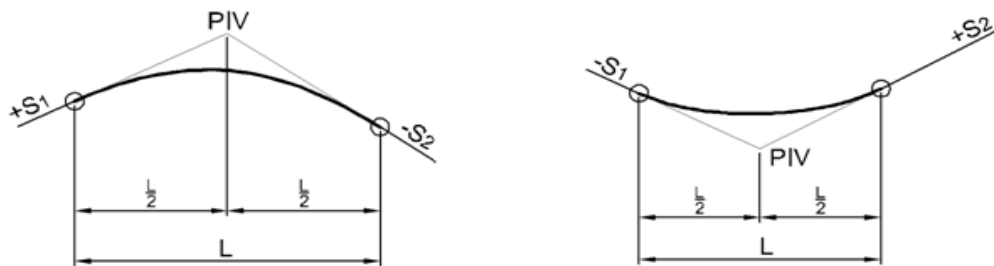
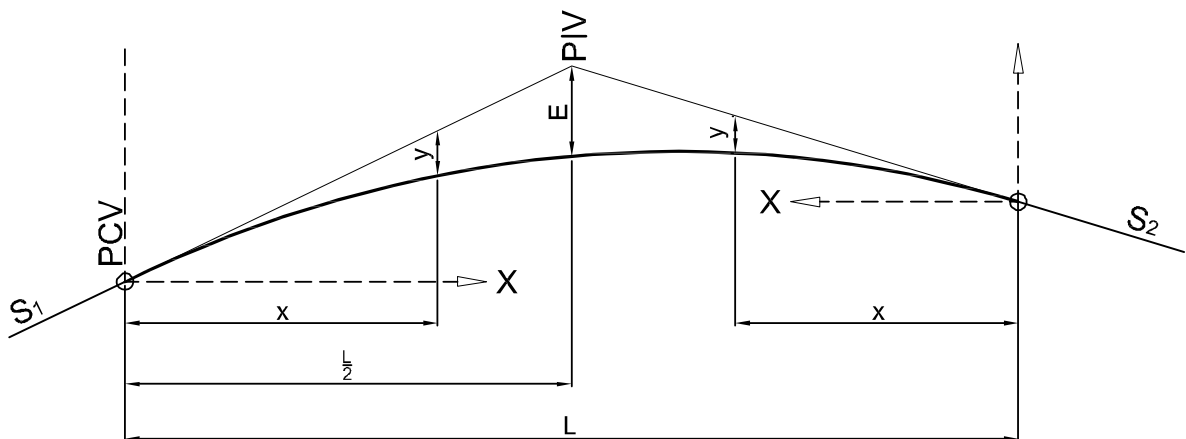


Figura 38. Elementos de una Curva Vertical Simétrica



Una curva vertical simétrica consta de los siguientes elementos:

- **PCV** : Principio de la curva vertical.
- **PIV** : Punto de intersección de las tangentes verticales.
- **PTV** : Terminación de la curva vertical.
- **L** : Longitud de la curva vertical, medida por su proyección Horizontal, en metros.
- **S1** : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).
- **S2** : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).
- **A** : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%), o sea:

$$A = |S1 - S2|$$

- **E** : Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, dada en metros, se determina así:

$$E = \frac{A \times L}{800}$$

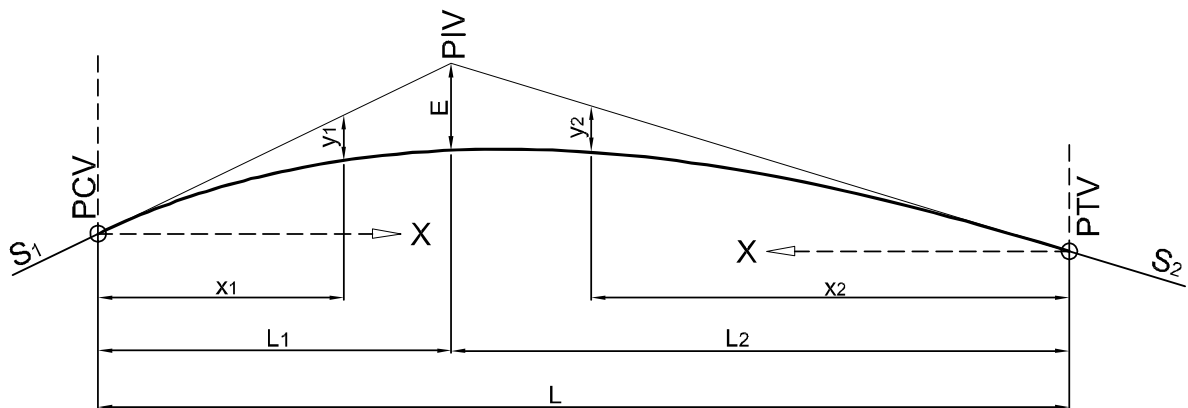
- **x** : Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o desde el PTV.
- **y** : Ordenada vertical en cualquier punto, también llamada corrección de la curva vertical, se calcula mediante la expresión.

$$y = x^2 \times \left(\frac{A}{200 \times L} \right)$$

- **Elementos geométricos de la curva vertical asimétrica**

Este tipo de curva está conformada por dos parábolas de diferente longitud (L_1 , L_2) que se unen en la proyección vertical del PIV.

Figura 39. Elementos de la curva vertical asimétrica



Una curva vertical asimétrica consta de los siguientes elementos:

- **PCV** : Principio de la curva vertical.
- **PIV** : Punto de intersección de las tangentes verticales.
- **PTV** : Terminación de la curva vertical.
- **S1** : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).
- **S2** : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).
- **L1** : Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal en metros.
- **L2** : Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal en metros.
- **L** : Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros, se cumple: $L = L_1 + L_2$ y $L_1 \neq L_2$
- **A** : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%), o sea:

$$A = |S_1 - S_2|$$

- **E** : Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, dada en metros, se determina así:

$$E = \frac{A \times L_1 \times L_2}{200 \times (L_1 + L_2)}$$

- **x₁** : Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV.
- **x₂** : Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV.
- **y₁** : Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PCV, se calcula mediante la expresión:

$$y_1 = E \times \left(\frac{x_1}{L_1}\right)^2$$

- **y₂** : Ordenada vertical en cualquier punto de la segunda rama medida desde el PTV, se calcula mediante la expresión:

$$y_2 = E \times \left(\frac{x_2}{L_2}\right)^2$$

4.2.3 Determinación de la longitud de la curva vertical.

Los criterios para la selección de la curva vertical que a continuación se indican son aplicables para las curvas simétricas y asimétricas y son los siguientes:

- **Criterio de seguridad**

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (D_P). En algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a).

- **Criterio de operación**

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario de un cambio súbito de pendiente.

- **Criterio de drenaje**

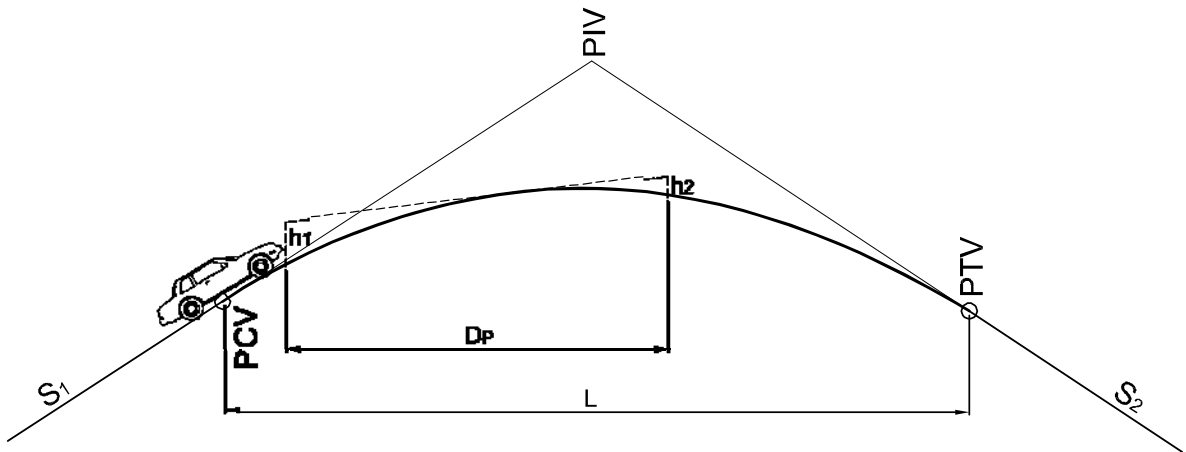
Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

▪ **Curva convexa.**

- **Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad.**

Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (D_P) y la longitud de la curva (L): Cuando $D_P < L$ y $D_P > L$. Las ecuaciones que se indican a continuación presentan la longitud de la curva para cada relación, teniendo en cuenta la altura del ojo de conductor sobre la calzada (h_1), que es igual a 1.10 m, y la altura del obstáculo (h_2), que es igual a 0.20 m.

**Figura 40. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva
Vertical convexa según el criterio de seguridad**



- Cuando el $D_p < L$ (ver Figura 33)

$$L_{min} = \frac{A \times (D_p)^2}{200 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde	L_{min}	: Longitud mínima de la curva, en metros.
	A	: Diferencia algebraica de pendientes, en Porcentaje (%).
	D_p	: distancia de visibilidad de parada, asociada A la Velocidad Especifica de la curva vertical (V_{CV}), en metros.
	h_1	: Altura del ojo del conductor, en metros. $h_1 = 1.10m$.

Reemplazando los valores de h_1 y h_2 se tiene:

$$L_{min} = \frac{A \times (D_P)^2}{447}$$

- Cuando $D_P > L$:

$$L_{min} = 2 \times D_P - \frac{200 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

Reemplazando los valores de h_1 y h_2 :

$$L_{min} = 2 \times D_P - \frac{447}{A}$$

Por lo tanto,

$$L_{min} = \frac{A \times (D_P)^2}{447}$$

Para llevar un control de la distancia de visibilidad de parada (D_P) también se puede hacer mediante el parámetro K , el cual es igual a la relación L/A (distancia horizontal, en metros necesaria para tener un cambio de pendiente de uno por ciento (1%) a lo largo de la curva). De lo anterior surge la siguiente expresión:

$$K_{min} = \frac{L}{A}$$

Reemplazando el valor de (L) en la ecuación anterior, se tiene:

$$K = \frac{(D_p)^2}{447}$$

Los valores de K_{\min} para curvas convexas se presentan en la tabla 20 para diferentes velocidades específicas de las curvas verticales (V_{CV}) de acuerdo con la expresión anterior: Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{\min} = K_{\min} \times A; \quad A \text{ en porcentaje (\%)} \text{ y } L_{\min} \text{ en metros}$$

- **Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad.**

La aplicación de este criterio evita el cambio súbito de pendiente y permite que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia. La longitud mínima de la curva vertical para cumplir con este criterio está en función de la Velocidad Específica (V_{CV}) y es dada por la siguiente expresión:

$$L_{\min} = 0.6 \times V_{CV}$$

Donde L_{\min} : Longitud mínima según criterio de operación, en metros.
 V_{CV} : Velocidad Específica de la curva vertical, Km/h.

No se recomienda proporcionar distancia de visibilidad de adelantamiento en curvas verticales convexas.

Tabla 20. Valores de K_{\min} para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes (m)

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{cv} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{\min}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CONCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0,6	1,0	2,1	3,0	20 ⁽¹⁾
30	35	1,9	2,0	5,1	6,0	20 ⁽¹⁾
40	50	3,8	4,0	8,5	9,0	24
50	65	6,4	7,0	12,2	13,0	30
60	85	11,0	11,0	17,3	18,0	36
70	105	16,6	17,0	22,6	23,0	42
80	130	25,7	26,0	29,4	30,0	48
90	160	38,9	39,0	37,6	38,0	54
100	185	52,0	52,0	44,6	45,0	60
110	220	73,6	74,0	54,4	55,0	66
120	250	95,0	95,0	62,8	63,0	72
130	285	123,4	124,0	72,7	73,0	78

▪ **Curva cóncava**

- **Longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de seguridad.**

En curvas cóncavas, el análisis de visibilidad considera las restricciones que se presentan en la noche y estima la longitud del sector de carretera iluminado hacía adelante, como la distancia de visibilidad. Dicha distancia depende de la altura de las luces delanteras del vehículo (H), para la cual se asume un valor de 0.60 m y un ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba (α) respecto al eje longitudinal del vehículo de 1° . De la misma forma que en las curvas convexas se presentan dos situaciones:

- **Cuando $D_p < L$** (ver Figura 34)

El conductor y el obstáculo están dentro de la curva y la distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva.

En términos generales, se tiene que:

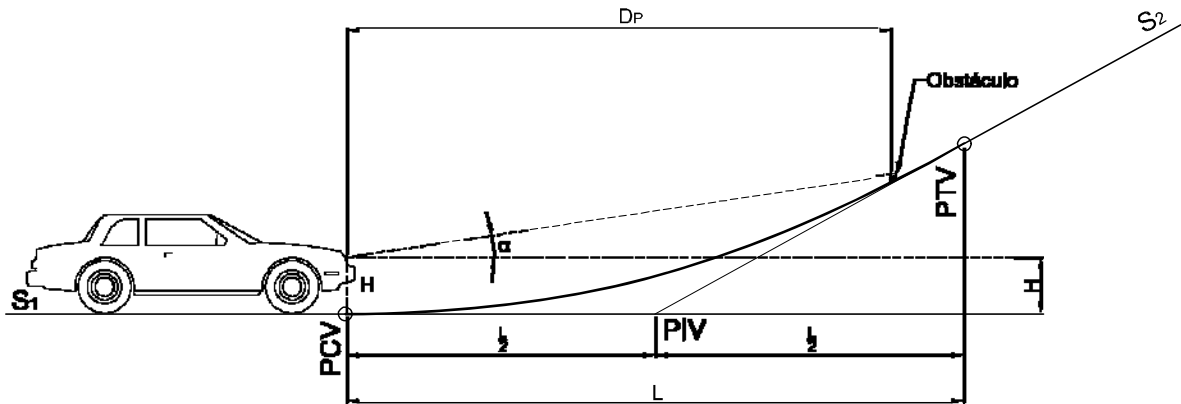
$$L_{min} = \frac{A \times (D_p)^2}{200 \times (H + D_p \times \tan \alpha)}$$

Donde	D_p	: Distancia de visibilidad de parada, en metros.
	H	: Altura de los faros delanteros del vehículo, igual a sesenta centímetros (0.60 m)
	α	: Angulo de divergencia de los rayos de la luz de los faros delanteros. $\alpha = 1^\circ$
	A	: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

Reemplazando los valores en la expresión anterior:

$$L_{\text{mín}} = \frac{A \times (D_p)^2}{120 + 3.5 \times D_p}$$

Figura 41. Elementos para determinar la longitud mínima de una curva vertical cóncava según el criterio de seguridad



- **Cuando $D_p > L$**

Cuando el conductor y el objeto están fuera de la curva, la distancia de la visibilidad es mayor que la longitud de la curva. Para $H=0.60$, $\alpha=1^\circ$ D_p es la distancia de visibilidad de parada, se tiene:

$$L_{\text{mín}} = 2 \times D_p - \frac{200 \times (0.6 + D_p \times \tan \alpha)}{A}$$

Reemplazando el ángulo $\alpha = 1^\circ$

$$L_{mín} = 2 \times D_p - \frac{120 + 3.5 \times D_p}{A}$$

De los dos casos anteriores se adopta la ecuación para $D_p < L$, debido a que genera valores mayores, que cubren los valores asociados a $D_p > L$.

Por lo tanto:

$$L_{mín} = \frac{A \times (D_p)^2}{120 + 3.5 \times D_p}$$

De igual forma como en las curvas convexas, se puede determinar el parámetro K:

$$K_{mín} = \frac{(D_p)^2}{120 + 3.5 \times D_p}$$

4.2.4 Distancia de visibilidad bajo estructuras.

La distancia de visibilidad de la vía en sitios de cruce bajo estructuras, debe ser como mínimo la distancia de visibilidad de parada, aunque se recomienda que sea mayor.

En algunos casos el diseñador debe chequear la distancia de visibilidad disponible bajo un paso inferior, para lo cual se recomienda proveer una distancia de visibilidad igual a la de adelantamiento (D_a)

5. DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

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

5.1 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

5.1.1 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. El ancho de zona debe estar en el rango presentado en la siguiente tabla, salvo que circunstancias particulares del proyecto justifiquen extrapolar el límite superior.⁴⁶

Tabla 21. Ancho de zona (m)

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

5.1.2 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.⁴⁷

⁴⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 147

⁴⁷ Ibid. , p. 147

5.1.3 Calzada

La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos constituida por dos o más carriles. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas.

- **Ancho de calzada**

En carreteras de una sola calzada, el ancho mínimo de la calzada debe ser de 6 m con el fin de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario.

En la siguiente tabla se muestra el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR).

Tabla 22. Ancho de calzada (m)

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (VTR) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	7,30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	7,30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	7,30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	7,30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	7,30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7,00	7,00	7,00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7,30	7,30	7,30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7,00	7,30	7,30	7,30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6,60	7,00	7,30	7,30	7,30	-	-	-
	Escarpado	-	-	6,00	6,6	7,00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6,00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6,00	6,00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6,00	6,00	6,00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6,00	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- **Pendiente transversal en entretangencias horizontales**

Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. En entretangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura.⁴⁸

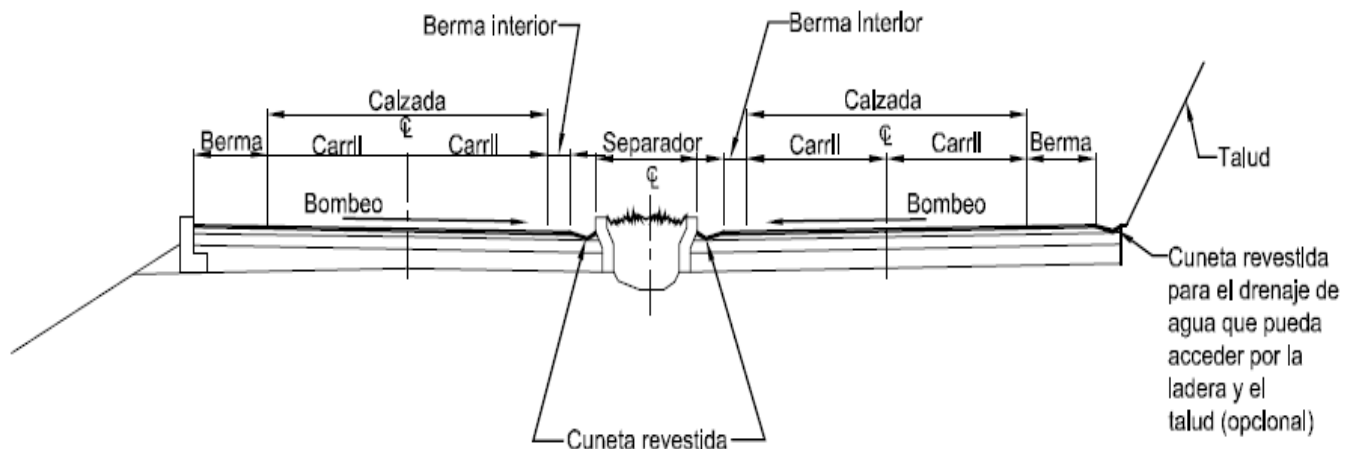
En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes.

Tabla 23. Bombeo

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2-3
Superficie de tierra o grava	2- 4

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 43. Bombeo en carreteras de dos calzadas



⁴⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 151

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

▪ **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).

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

▪ **Pendiente Transversal**

Las bermas deben tener la misma pendiente transversal que el carril de circulación adyacente, bien sea en entretangencia o en curva.

Adicionalmente, no debe existir desnivel entre la berma y el carril de circulación adyacente, separándose estas dos franjas mediante líneas de demarcación.⁴⁹

⁴⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 153

Tabla 24. Ancho de Berma

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (VTR) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2,00	2,00	2,50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1,80	2,00	2,00	2,50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1,50	1,50	1,80	1,80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1,50	1,50	1,80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1,00	1,50	1,80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1,00	1,00	1,50	1,80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0,50	0,5	1,00	1,00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0,50	0,5	0,50	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0,50	1	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0,50	0,50	0,50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0,50	0,50	0,50	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

5.2 SOBREANCHO EN LAS CURVAS

En curvas de radio reducido, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera, se debe ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la calzada.⁵⁰

⁵⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 153

5.2.1 Vehículos rígidos.

En la siguiente tabla se indican las dimensiones de los vehículos representativos de cada categoría.

Tabla 25. Dimensiones para el cálculo del sobrecancho en los vehículos tipo rígido



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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 44. Sobreancho en curva

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

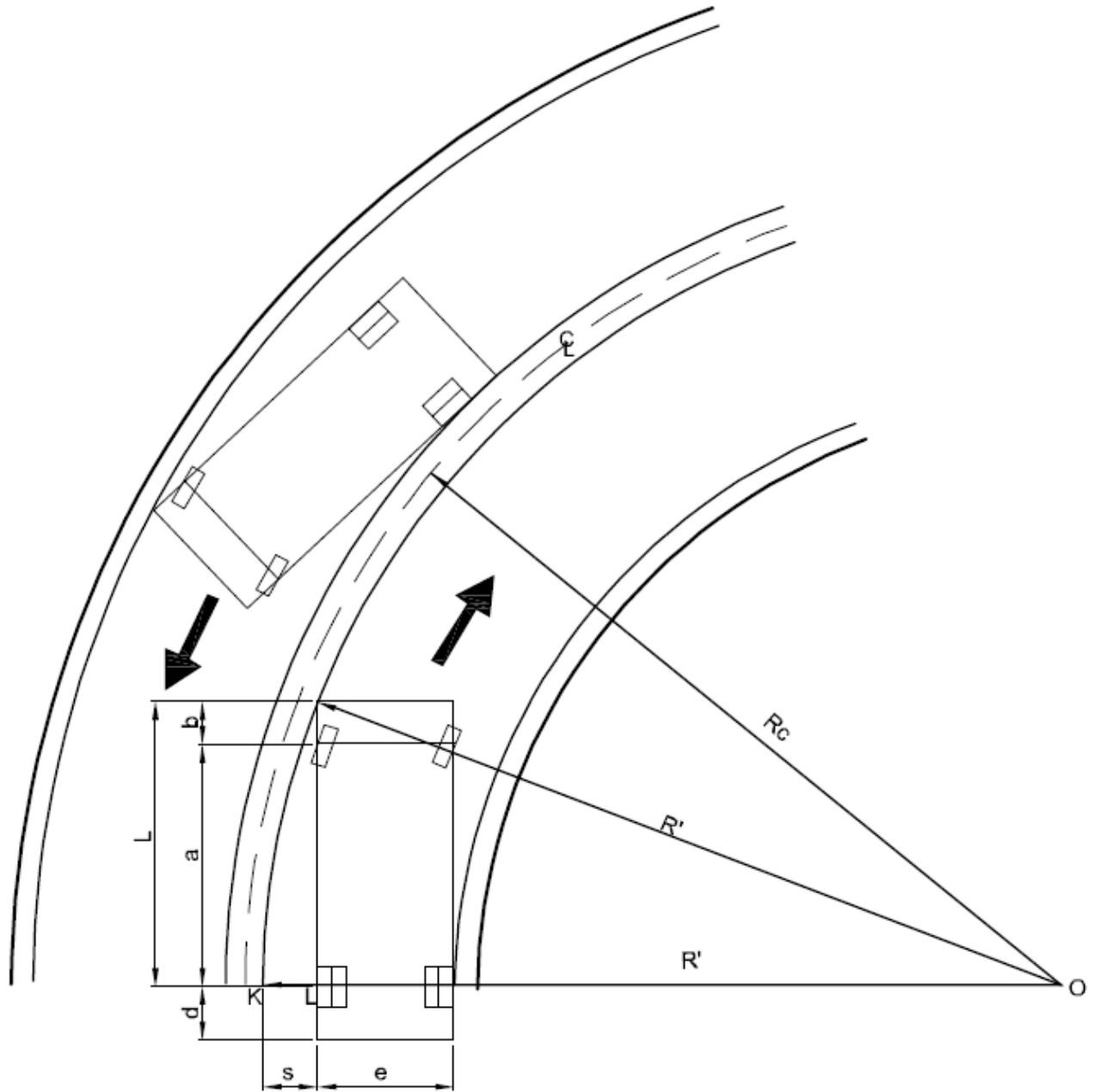
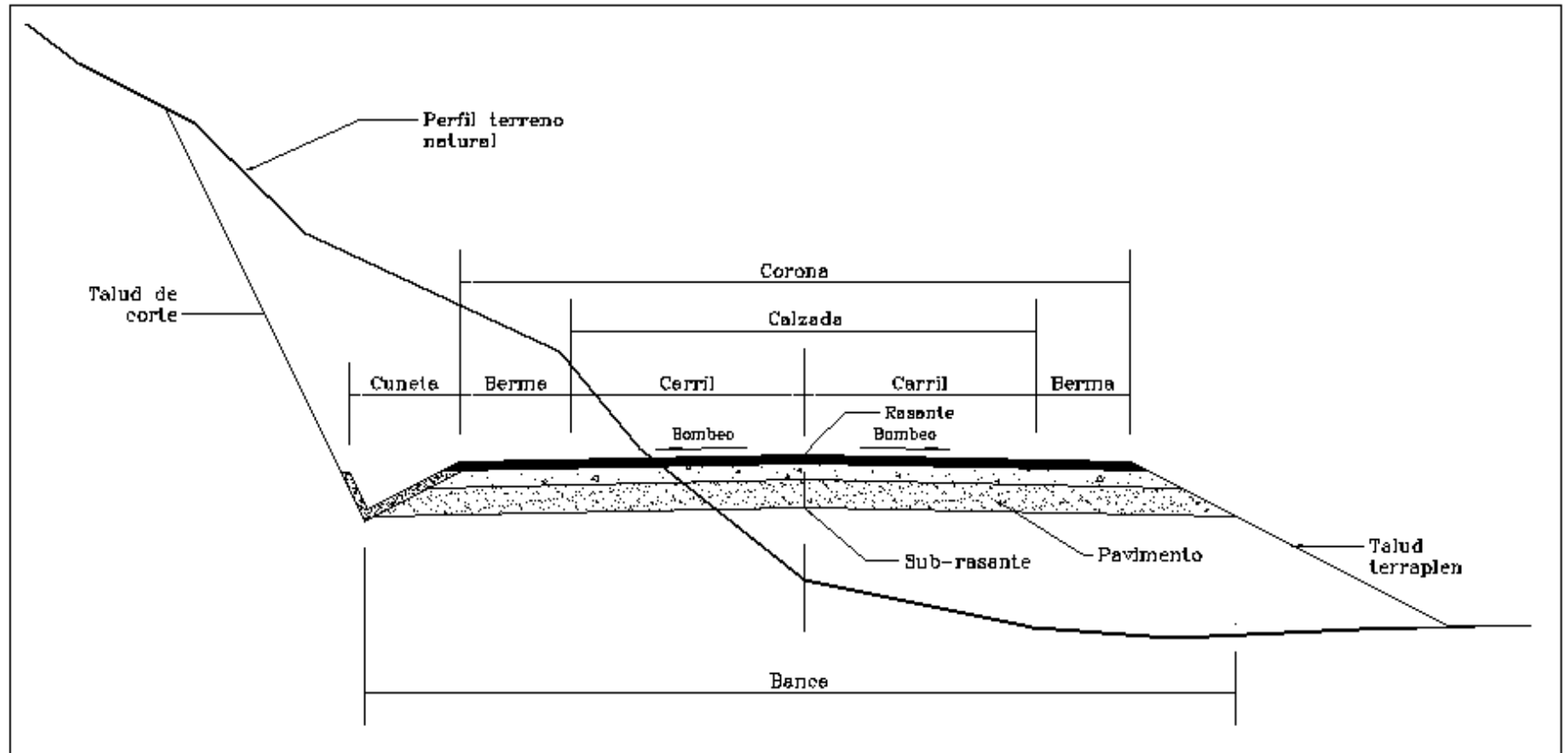


Figura 45. Sección transversal de la carretera



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

El sobreebancho se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

S: Sobreebancho requerido para una calzada.

n: Numero de carriles.

R_c: Radio de la curva circular

En vías de dos carriles y dos sentidos, para anchos de calzada en entretangencia mayores de 7 m, no se requiere sobreebancho, a excepción de las curvas con ángulos de deflexión mayor a 120°

Igualmente, el sobreebancho estará limitado a curvas de radio menor a 160 m y todo el sobreebancho requerido para los carriles que integran la calzada se debe construir en la parte interior de la curva. La línea central divisoria de carriles, demarcada sobre el pavimento, se debe fijar en la mitad de los bordes de la calzada ya ensanchada.⁵¹

En vías terciarias, el sobreebancho de la curva se puede determinar de acuerdo a la grafica para cualquier valor de R_c. El grafico está elaborado teniendo en cuenta un carril; para calzada de n carriles el sobreebancho se determina multiplicando el valor dado en el grafico por el número de carriles (n). En términos generales, dicho valor se calcula mediante la siguiente relación:

$$S = \frac{32 \times n}{R_c}$$

⁵¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 156.

Donde:

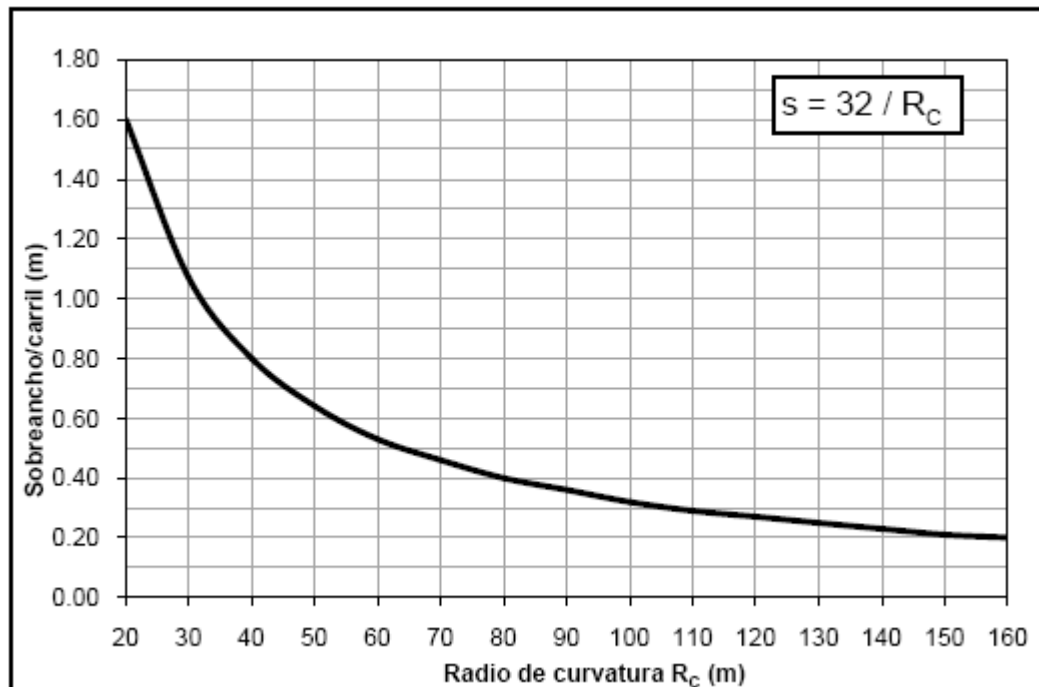
S: Ancho requerido por la calzada, en metros.

n: Numero de carriles.

R_c: Radio de la curva, en metros.

La siguiente figura aplica para un camión de dos ejes con L = 8 m. los valores de sobreebanco calculados se pueden redondear para obtener valores que sean múltiplos de 0.1m (10cm).

Figura 46. Sobreebanco de la curva para un carril en carreteras Terciarias



5.2.2 Vehículos articulados⁵²

A continuación se presenta el vehículo articulado, conformado por una unidad tractora semirremolque. Las dimensiones ilustradas corresponden a las requeridas para el cálculo del sobreebancho.

Figura 47. Dimensiones para el cálculo del sobreebancho requerido por el vehículo articulado representativo del parque automotor Colombiano.



	CATEGORIA	A (m)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	u (m)
3S2	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.00	12.97	2.59

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

El manual AASHTO versión 2004 presenta el siguiente procedimiento para la determinación del sobreebancho requerido en una curva.

La expresión recomendada por la AASHTO es:

$$S = A_c - A_t$$

Donde:

S: Sobreebancho requerido por la calzada, en metros.

A_c: Ancho de la calzada en curva, en metros.

A_t: Ancho de la calzada en tangente, en metros.

⁵² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 157.

El ancho de la calzada en curva esta dado por:

$$A_C = n \times (U + C) + (n - 1) \times FA + Z$$

Donde:

n: Numero de carriles de la calzada.

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

$$U = u + R_C - \sqrt{R_C^2 - (L_1 + L_2 + L_3)^2}$$

Donde:

u: Ancho del vehículo en tangente, en metros.

R_c: Radio de la curva, en metros.

L₁, L₂ y L₃: Dimensiones del vehículo, en metros.

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

Tabla 26. Valor de C en función del ancho de la calzada.

	ANCHO DE CALZADA EN TANGENTE (A _T), m		
	6.00	6.60	7.20
C(m)	0.60	0.75	0.90

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

F_A: Avance del voladizo delantero del vehículo sobre el carril adyacente, cuando esta describiendo la trayectoria curva.

$$F_A = \sqrt{R_C^2 + A \times (2 \times L_1 + A)} - R_C$$

Donde:

R_c: Radio de la curva, en metros.

A: Valor del voladizo o saliente delantero del vehículo (ver Tabla 26), en metros.

L₁: Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora (Ver tabla 26), en metros.

Z: Sobreebanco adicional de seguridad, que depende de la curvatura y de la velocidad específica de la curva horizontal (V_{CH}) y cuyo propósito es facilitar la conducción sobre la curva, en metros. Este valor es experimental.

$$Z = 0.1 \times \sqrt{\frac{V_{CH}}{R_c}}$$

Donde:

V_{CH}: Velocidad específica de la curva, en Km/h

R_c: Radio de la curva, en metros.

El valor calculado del sobreebanco se debe redondear al décimo superior. Todo el sobreebanco requerido por la calzada se debe construir en el interior de la curva.

5.2.3 Transición del sobreebanco⁵³

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobreebanco se debe desarrollar gradualmente a la entrada y a la salida de las curvas.

⁵³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 160.

En el caso de las curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobreebanco se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada en la misma longitud utilizada para la transición del peralte.

El sobreebanco en cualquier punto S_p a una distancia L_p desde el inicio es:

$$S_p = \frac{S \times L_p}{L}$$

Donde:

S_p : Sobreebanco correspondiente a la longitud L_p , en metros.

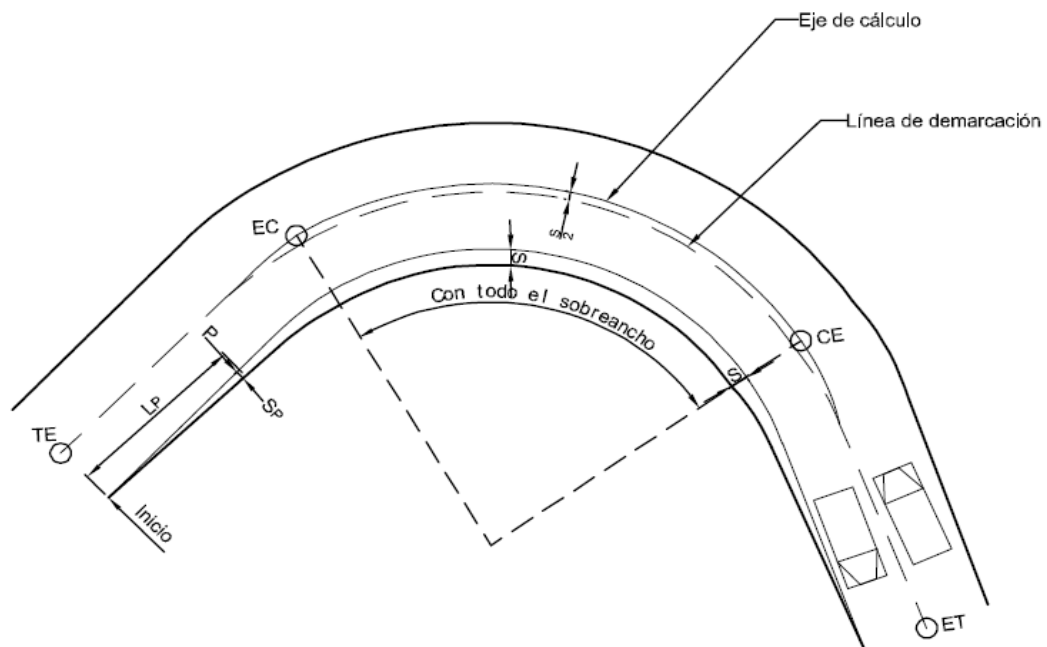
S : Sobreebanco calculado para la curva, en metros.

L_p : Longitud elegida para determinar el sobreebanco, en metros

L : Longitud de transición del sobreebanco, en metros.

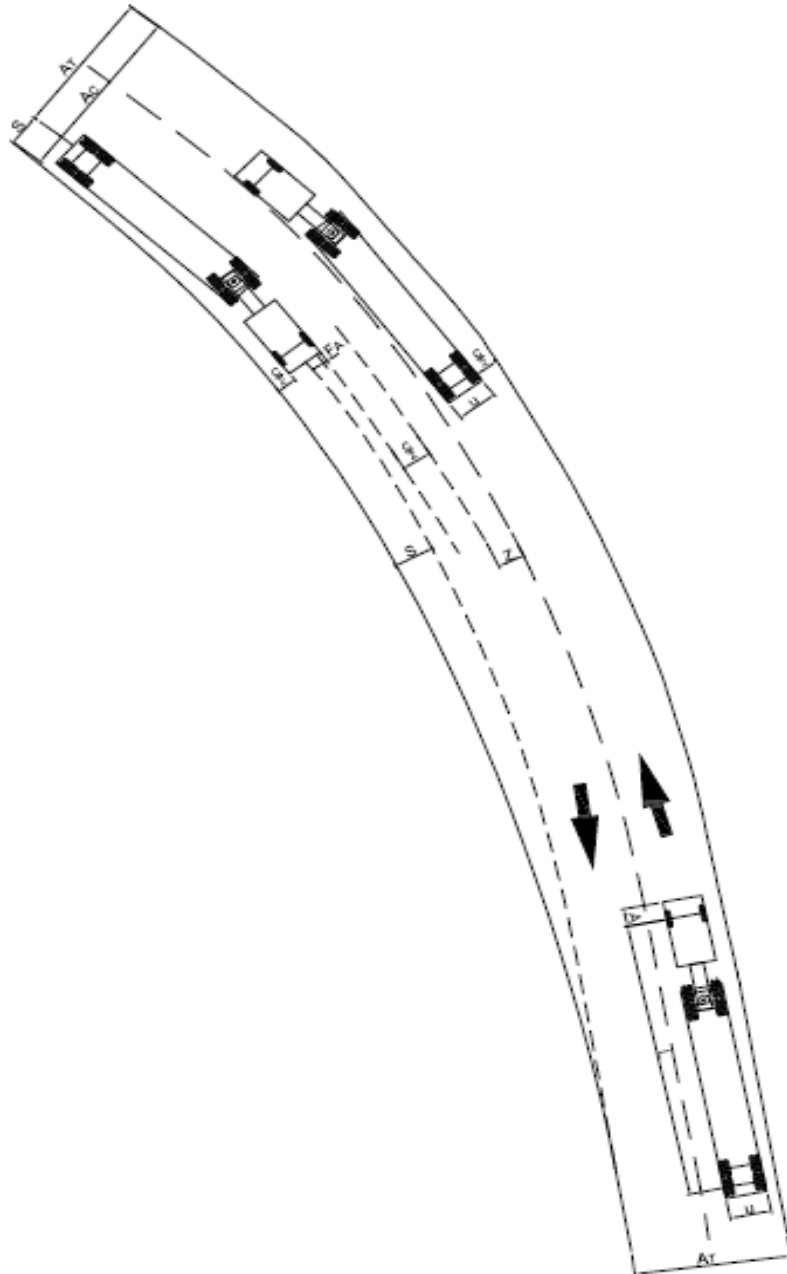
En las curvas espiralizadas la transición del sobreebanco, se realiza linealmente en la longitud de la espiral.

Figura 48. Transición del sobreebanco en las curvas



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 49. Sobreancho requerido para una curva al ser recorrido por un vehículo articulado de categoría 3S2



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

5.3 VALOR DE LA FLECHA (M) PARA PROVEER LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN UN CURVA⁵⁴

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 y el obstáculo lateral, que permita a lo largo del sector circular conservar siempre una distancia de visibilidad de parada mayor o igual a la mínima especificada.

El diseñador debe determinar la flecha (M) del arco subtendido de la curva que pasa por el punto de obstrucción lateral, que coincide con la dirección de la visual entre el vehículo y el obstáculo.

El valor mínimo de la flecha (M) aceptable, para proveer al conductor de la distancia de visibilidad de parada (Dp) admisible en cualquier curva, se puede calcular mediante la relación:

$$M = R_C \times \left[1 - \cos \left(\frac{28.65 \times D_p}{R_C} \right) \right]$$

Donde:

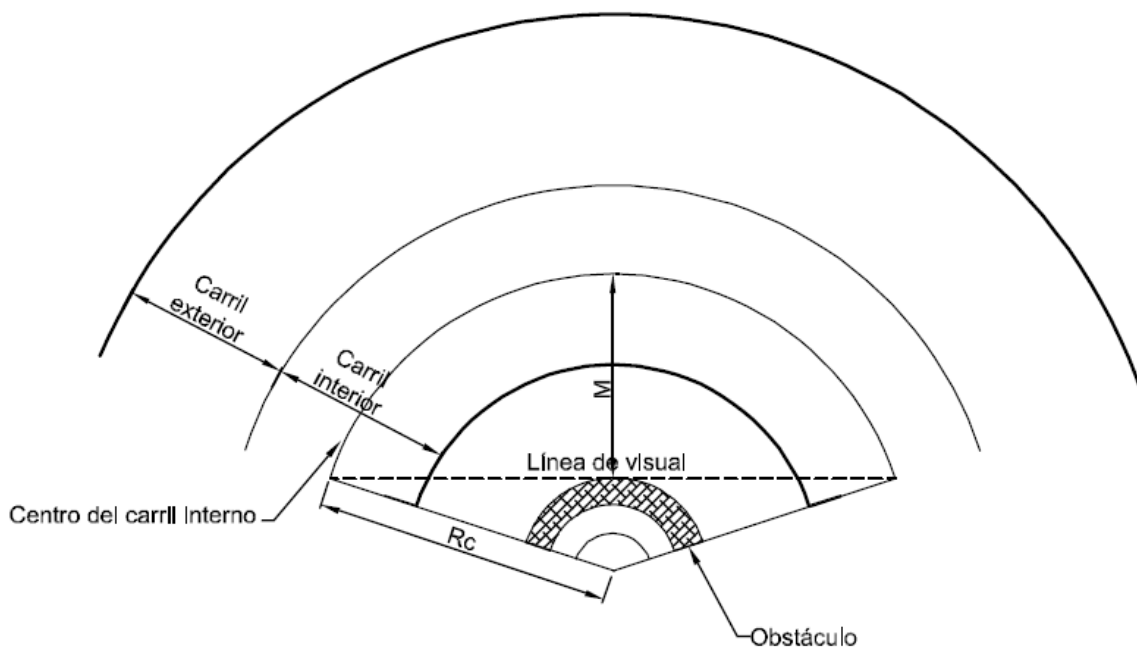
M: Flecha, distancia del eje del carril interior al obstáculo, (m).

Rc: Radio de la curva horizontal, (m).

Dp: Distancia de visibilidad de parada (m).

⁵⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 161.

Figura 50. Elementos que intervienen en la determinación de la Flecha (M)



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – 2008

5.4 CUNETAS

Son zanjas abiertas en el terreno, revestidas o no, que recogen y canalizan longitudinalmente las aguas superficiales de infiltración.

La selección de su forma y dimensiones depende principalmente del tipo de carretera en la cual se ubican, pudiendo ser revestidas en concreto en el caso de carreteras Primarias y Secundarias o sin revestir para el caso de carreteras Terciarias.

5.4.1 Cunetas revestidas en concreto.⁵⁵

Las cunetas revestidas en concreto se diseñan para que al final de su longitud su sección llegue al nivel de rebosamiento. El control de rebosamiento aplica para el

⁵⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 162.

caso más crítico, el cual se presenta cuando la cuneta tiene la pendiente longitudinal igual a la pendiente mínima de la vía. En general la pendiente mínima para los proyecto de carreteras es de 0.5%.

5.4.2 Cunetas sin revestir (cunetas en tierra).⁵⁶

Las cunetas en tierras se diseñan para asegurar que el agua no las va a erosionar. El control por erosión en las cunetas sin revestir depende del tipo de suelo de las subrasante, de la pendiente longitudinal de la vía y de la intensidad de la lluvia de diseño.

5.5 TALUDES

Los taludes son los planos laterales que limitan la explanación. Su inclinación se mide por la tangente del ángulo que forman tales planos con la vertical en cada sección de la vía.

La inclinación de los taludes de corte es variable a lo largo de la vía según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados.

5.6 CARRILES ESPECIALES DE ASCENSO

Los vehículos livianos no se ven afectados por rampas (pendientes ascendentes) inferiores a 7%, pero los vehículos pesados, en rampas largas con pendientes superiores a 3% sufren una disminución importante en su velocidad.

Para esta situación es deseable proporcionar un carril de ascenso, en una vía de dos carriles, cuando se exceda la longitud crítica de pendiente.

Los criterios generales para dotar a la sección transversal de la vía de un tercer carril son:

⁵⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 163.

1. A partir del sitio en donde la longitud de la pendiente haya causado a los vehículos pesados una reducción de 25 Km/h respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.
2. Cuando el Tránsito Promedio Diario (TPD) sea superior a 1000 vehículos y la inclinación de la rasante mayor de 4%.
3. Si la velocidad media del tránsito liviano disminuye del valor indicado en la siguiente tabla podría ser necesario utilizar un carril de ascenso.

Tabla 27. Criterio para el establecimiento de un carril de ascenso en carreteras

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)	60	70	80	100	120
VELOCIDAD MEDIA MÍNIMA DEL TRÁNSITO LIVIANO (Km/h)	50	55	70	85	90

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – 2008

En el proyecto de construcción de carriles de ascenso, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

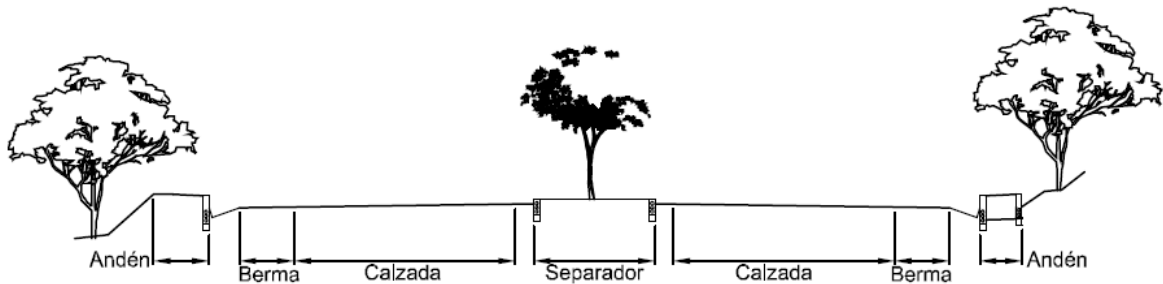
1. La longitud mínima de un carril de ascenso debe corresponder a un tiempo de recorrido de aproximadamente 20 segundos a la Velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}), y no ser menor de 300 metros.
2. Como mínimo, el carril debe tener 3 metros de ancho, pero preferiblemente el del carril adyacente.
3. La berma, debe tener el ancho adoptado en la sección transversal de la vía.

5.7 ANDENES Y SENDEROS PEATONALES

Son de uso restringido en áreas rurales, dado su escaso número de peatones. El ancho requerido por una persona es de 0.75 m y para garantizar el cruce de las personas su ancho total debe ser mínimo de 1.50 m. La elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre 0.10 y 0.25 metros.

Los sitios donde generalmente se deben localizar los andenes son zonas escolares, áreas de servicio, áreas de estacionamiento de buses, etc.

Figura 51. Sección transversal de una vía con andenes



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

5.8 SEPARADORES DE CALZADA

Los separadores son por lo general zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera. Su función principal es independizar la circulación de las calzadas.

5.8.1 Separador lateral

Se utiliza para separar calzadas destinadas al mismo sentido del tránsito. Deben ser, como mínimo, de ancho menor que el separador central o mediana, a menos que sobre ellos se instalen postes de alumbrado, en cuyo caso su ancho debe ser mayor de 4 metros.

5.8.2 Separador central o mediana

Se utiliza para separar direcciones opuestas de tránsito. Contribuye a disminuir cualquier tipo de interferencia como el deslumbramiento nocturno.

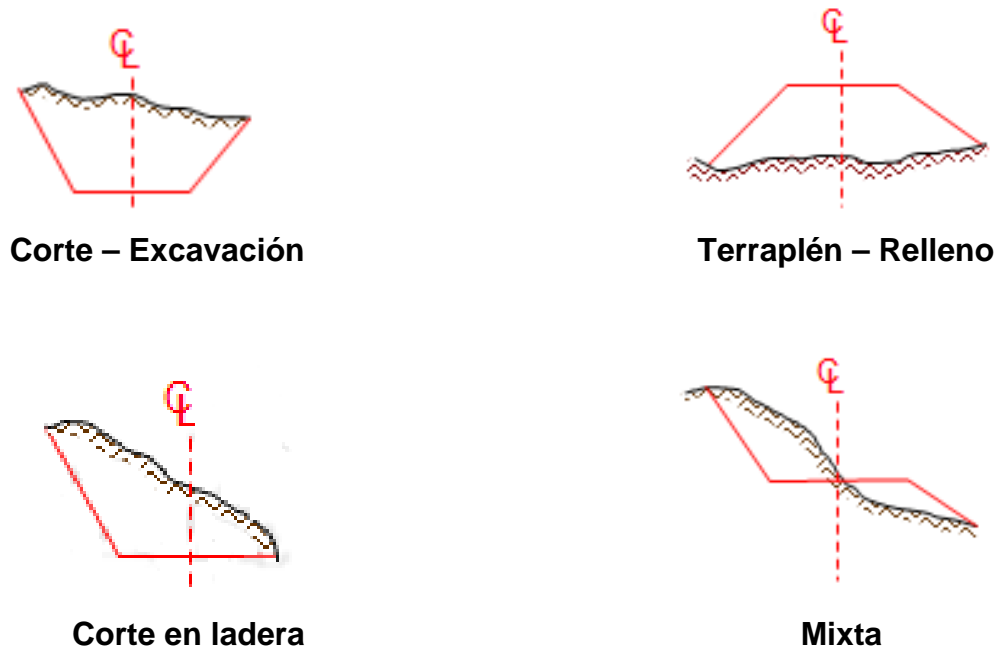
En terreno plano el separador central suele ser constante en su ancho, con lo que se mantienen paralelas las dos calzadas.

En terreno montañoso, si se independizan las calzadas, el ancho del separador central es variable. Si el ancho del separador varía entre 4 y 10 metros, puede ser necesario instalar barreras de seguridad si el volumen de tránsito así lo demanda.

5.9 SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS

El tipo de sección predominará dependiendo de la topografía del terreno. En la figura 53 se muestran los tipos generales de secciones transversales.

Figura 52. Secciones transversales generales



5.10 CHAFLANES

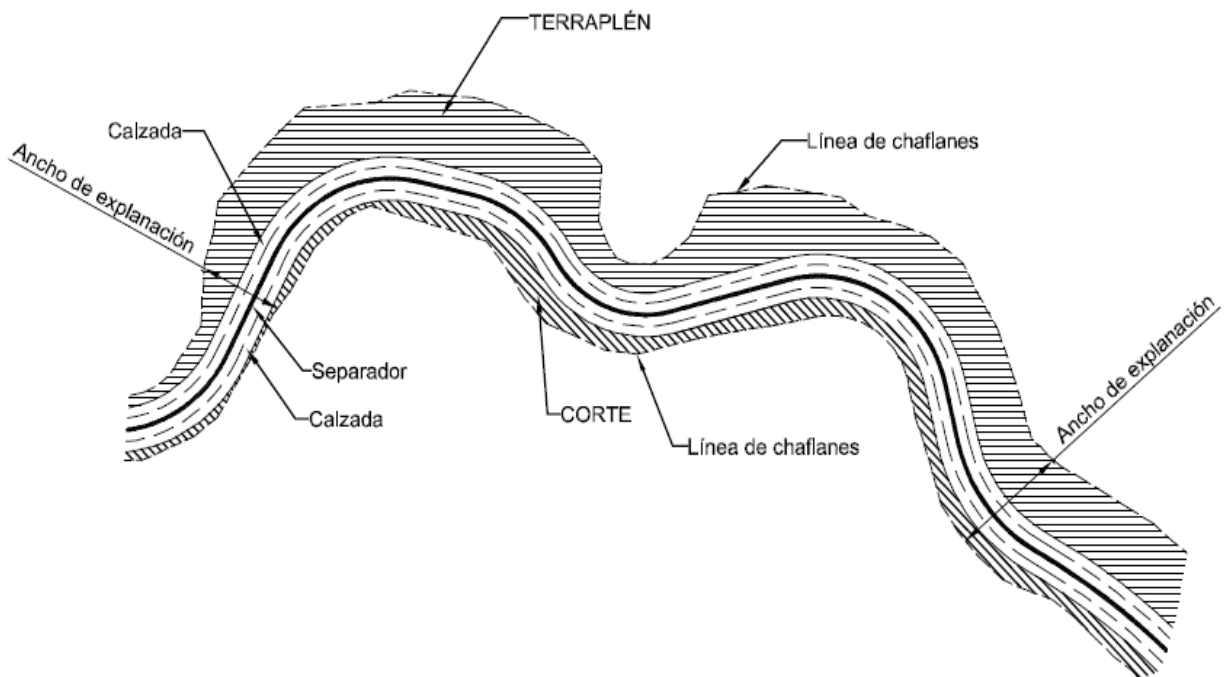
También llamadas estacas extremas de talud. Son los puntos donde los taludes, de corte o terraplén, encuentran el terreno natural.

5.10.1 Línea de chaflanes.

Es la representación en planta, de los bordes de la explanación o líneas que unen los chaflanes consecutivamente. Esta línea indica hasta donde se extiende lateralmente el movimiento de tierras por causa de los cortes o de los terraplenes.

Además, determina la necesidad de eventuales compras adicionales de predios y la identificación preliminar de requerimientos de estructuras de contención.

Figura 53. Línea de chaflanes

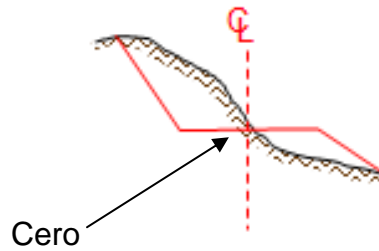


Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

5.10.2 Ceros

Son los puntos de paso de corte a terraplén o viceversa.

Figura 54. Ceros



5.10.3 Cota de trabajo

Es el trabajo necesario a realizar verticalmente sobre un punto en corte o terraplén según sea el caso

$$\mathbf{Cota\ Trabajo = Cota\ Roja - Cota\ Negra}$$

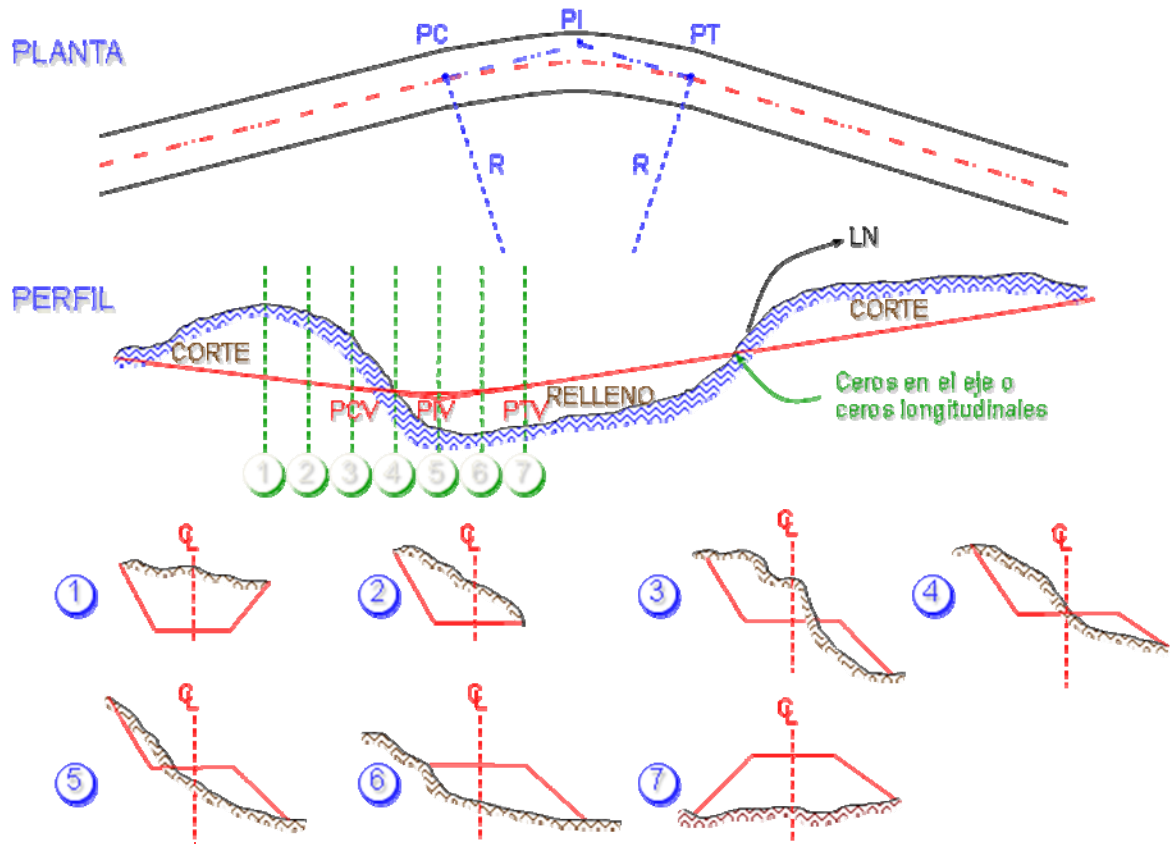
Donde:

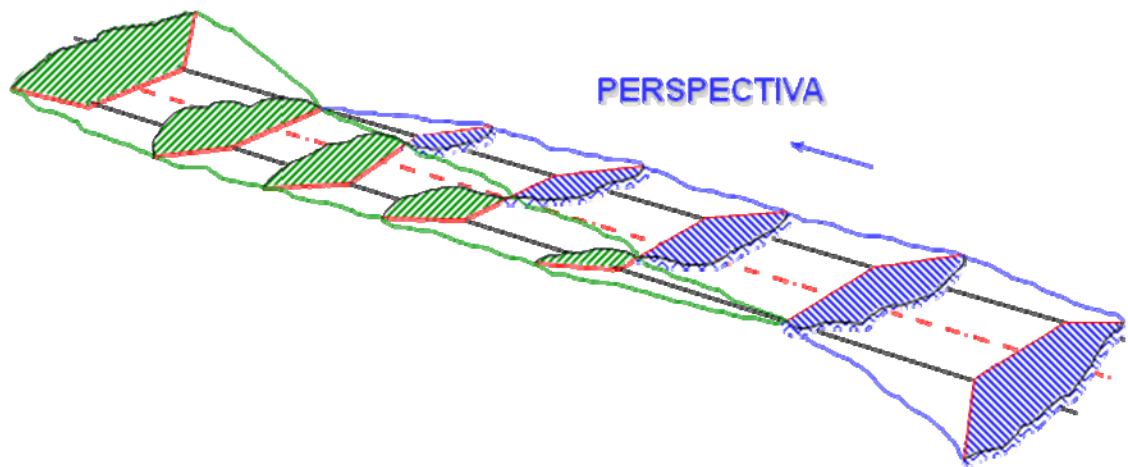
Cota Roja: Cota de proyecto o nivel de la subrasante.

Cota Negra: Cota del terreno natural.

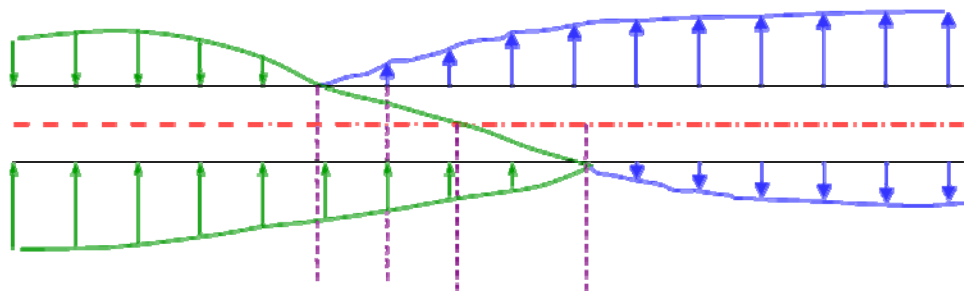
En la siguiente figura se muestra de manera tridimensional y en planta las diferentes posiciones de los Chaflanes y los Ceros.

Figura 55. Posición de los Chaflanes y los Ceros





PLANTADE CHAFLANES



5.10.4 Posición de los chaflanes

Los siguientes elementos definen la sección transversal.

$B=$ Ancho de banca.

$Y=$ Cota de trabajo al eje.

$t=$ Pendiente de los taludes.

$X_d, Y_d=$ Posición del chaflán derecho con respecto al eje de la vía y a la banca.

$X_i, Y_i=$ Posición del chaflán izquierdo con respecto al eje de la vía y a la banca.

- X_d = Distancia horizontal desde el eje de la vía al chaflán derecho.
 X_i = Distancia horizontal desde el eje de la vía al chaflán izquierdo.
 Y_d = Altura del chaflán derecho con respecto a la banca.
 Y_i = Altura del chaflán izquierdo con respecto a la banca.

Estas posiciones se presentan mediante las siguientes expresiones:

$$X_d = \frac{B}{2} + \left(\frac{1}{t}\right) Y_d$$

$$X_i = \frac{B}{2} + \left(\frac{1}{t}\right) Y_i$$

6. CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO

En el momento que se lleva a cabo el proceso de diseño geométrico debe ir de la mano tanto el entorno que está afectará como la interacción de los elementos de la carreta con las condiciones probables de operación vehicular, esto para evitar sobrecostos a causa de correcciones durante el proceso de construcción.

A continuación se plantean algunos criterios para tener en cuenta en el momento de hacer un diseño de vía, para que este sea seguro y agradable para los usuarios.

El resultado de aplicar los criterios debe ser un diseño que cumpla con las condiciones siguientes:

- Que el conductor pueda distinguir la superficie de rodadura así como obstáculos eventuales a una distancia suficiente para reaccionar adecuadamente.
- Que el conductor pueda detectar de manera oportuna los puntos particulares de interés como intersecciones, cruces, incorporaciones, etc.
- Tener una percepción continua de la evolución del trazado, evitando confusiones generadas por interrupciones en la geometría que podrían llevar a respuestas erróneas por parte de los conductores.
- Que el conjunto resultante del proceso de diseño sea agradable para los usuarios, que realce las condiciones estéticas de los sitios de influencia del recorrido, permitiendo con esto una operación menos monótona, y por consiguiente, se disminuye el riesgo de accidentalidad asociada al cansancio de los conductores.⁵⁷

⁵⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 213.

6.1 CRITERIOS GENERALES PARA GARANTIZAR LA ADECUADA INTERACCIÓN DEL DISEÑO EN PLANTA, EN PERFIL Y EN SECCIÓN TRANSVERSAL.

La información básica para la realización de este análisis son los planos de diseño de planta-perfil. Los elementos generales a tener en cuenta son:

6.1.1 Combinaciones indeseables

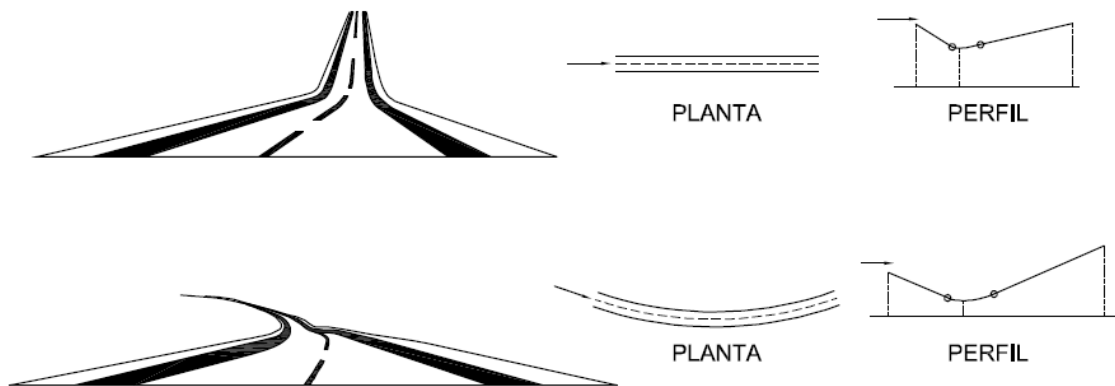
Se debe tener un balance apropiado entre la curvatura en planta como en perfil y sus pendientes. Es recomendable evitar los siguientes ítems:

- Alineamientos rectos de gran longitud seguidos de curvas horizontales de radios mínimos.
- Alineamientos rectos de gran longitud a expensas de pendientes fuertes.
- Pendientes bajas a expensas de desarrollos en planta muy extensos.
- Combinaciones que conduzcan a la pérdida de trazado. Se entiende por ésta como la desaparición de la superficie de la vía a lo ojos del conductor, y su reaparición a una distancia inferior a la requerida para recuperar el control perdido por el fenómeno de desorientación generado.

Es recomendable evitar siempre los siguientes casos:

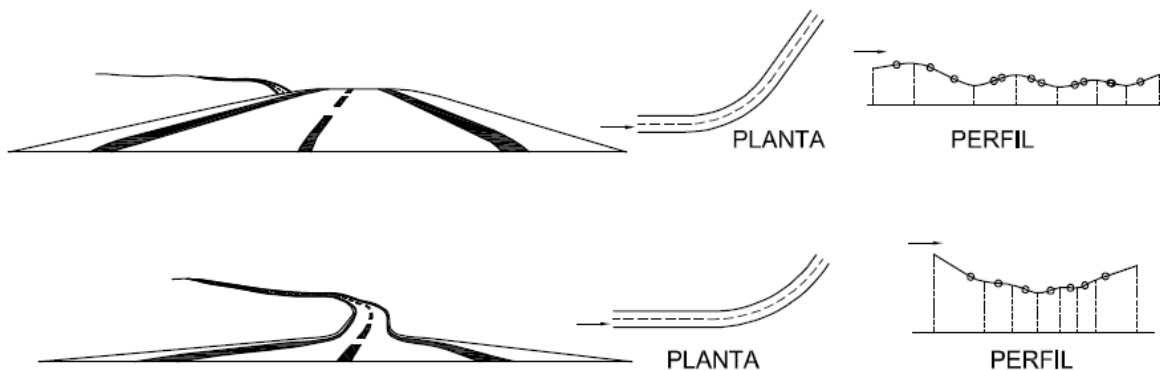
- En tramos rectos y curvas horizontales de gran radio, se debe evitar la presencia de curvas verticales cóncavas de poca longitud, tal como se ilustra en la figura 29.

Figura 56. Curvas verticales cóncavas de poca longitud⁵⁸



- En terrenos planos y ondulados, la ubicación de curvas verticales sucesivas y de corta longitud produce un efecto de pérdida de trazado y de disminución de los tramos de oportunidad de adelantamiento, tal como se ilustra en la figura 30.

Figura 57. Curvas verticales Sucesivas⁶⁴

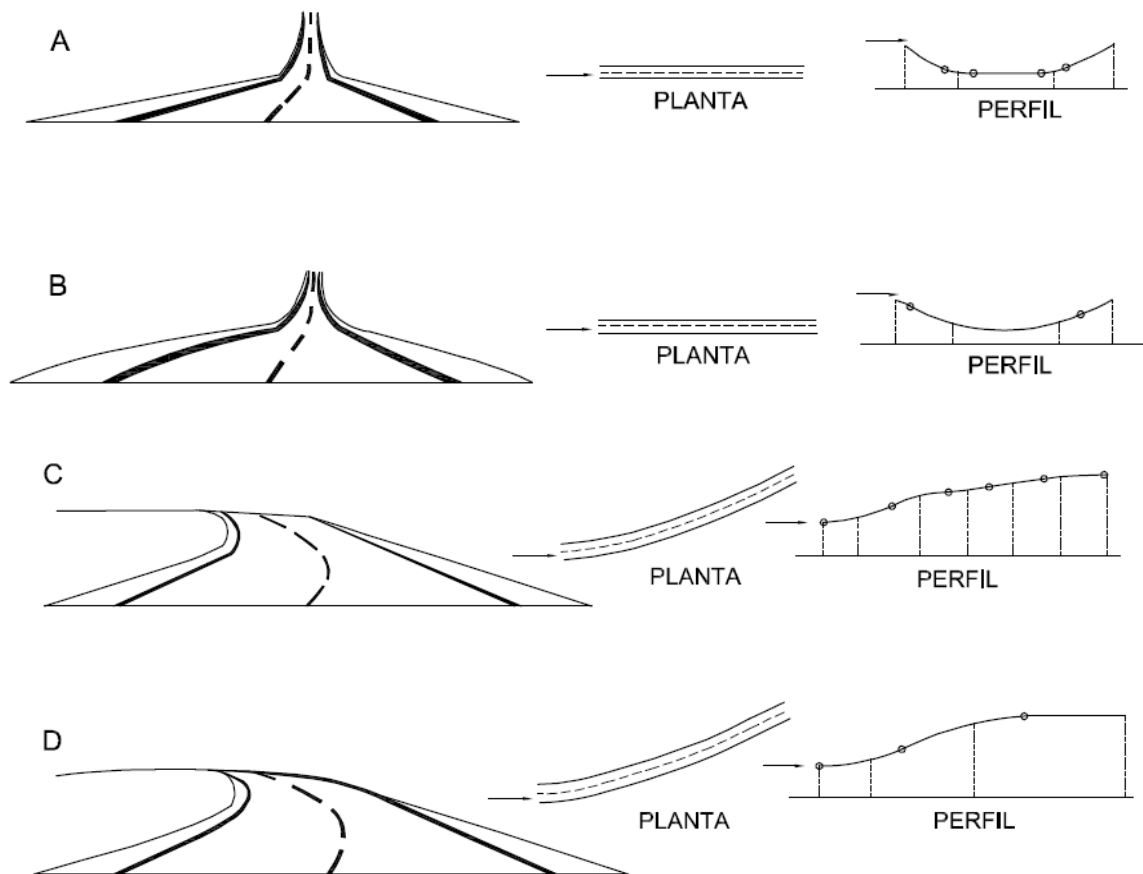


- Localizar tramos rectos cortos en medio de dos curvas verticales cóncavas o convexas, tal como se ilustra en las figuras 31a y 31c. Esto se debe

⁵⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 215.

reemplazar por una curva vertical única de gran parámetro (ver figuras 31b y 31d) siempre y cuando esto no vaya en contra de los valores determinados en el capítulo 4. Determinación de la curva vertical.

Figura 58. Reemplazo de tramos rectos cortos por curvas verticales de gran parámetro.⁵⁹



- Hacer concurrir puntos de inflexión de curvas horizontales y curvas verticales convexas, es sinónimo de peligrosidad, por la gran posibilidad de que el conductor tome decisiones erróneas

⁵⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 216.

Eventualmente, estos ítems no pueden ser evitados completamente, sin embargo, es altamente recomendable poder ofrecer una visibilidad continua de la carretera en una longitud por lo menos igual a los valores presentados en la tabla 29, que corresponden a la distancia de visibilidad específica del elemento geométrico que se recorre.

Tabla 28. Distancia de visibilidad según la velocidad específica del elemento geométrico que se recorre.

VELOCIDAD ESPECÍFICA (Km/h)	LONGITUD (m)
30	150
40	200
50	250
60	300
70	350
80	400
90	500
100	600
110	700
120	800

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

6.1.2 Combinaciones recomendadas

Estas combinaciones que se presentan pueden ayudar a una operación cómoda y segura, siempre y cuando se cumpla en todos los casos los criterios descritos en el diseño en planta, perfil y secciones transversales.

- En el momento que se presenten variaciones en el terreno que exija la ubicación de curvas horizontales y verticales con parámetros cercanos al mínimo, se debe generar una transición en la geometría de las zonas adyacentes, de tal forma que se facilite a los conductores realizar cambios necesarios de velocidad.

Figura 59. Transición de la geometría en sitios con radios cercanos o iguales al mínimo.

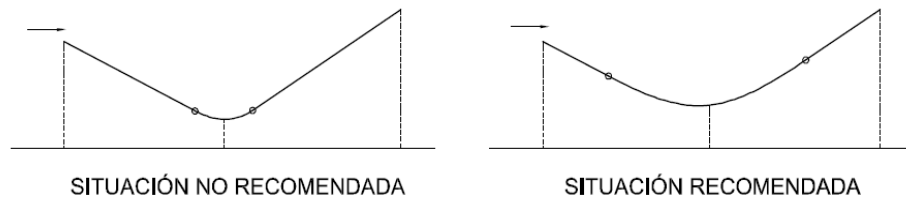


Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- Tratar siempre que haya concurrencia de curvas horizontales y verticales, siempre y cuando los valores de diseño para cada una no se encuentren muy cercanos o exactamente en los mínimos permitidos. En el momento que se realice ésta superposición empleando curvas convexas, es decir, se debe limitar la longitud de la curva vertical convexa según el tipo de curva horizontal, atendiendo a los siguientes parámetros:
 - **Si la curva es espiralizada:** El desarrollo de la curva vertical deberá realizarse dentro del tramo circular central.

- **Si se emplea una curva Espiral-Espiral:** Al estar en desarrollo la curva vertical esta debe ofrecerle al conductor visualizar más de la mitad de la longitud de la curva horizontal.
- **Si la curva es circular simple:** Se debe desarrollar la curva vertical una longitud menor a la de la curva horizontal.
- **Si se emplean curvas circulares compuestas:** La longitud de la curva vertical deberá ofrecerle al conductor visualizar por lo menos la consecución de dos curvas simples.
- **En terrenos planos:** Se deben reemplazar los tramos rectos de extremada longitud por curvas horizontales de gran dimensión.
- Usar curvas verticales cóncavas es aconsejable, siempre y cuando éstas se encuentren acorde con la longitud del tramo de pendiente constante.

Figura 60. Uso de la curvas cóncavas acorde con las pendientes adyacentes

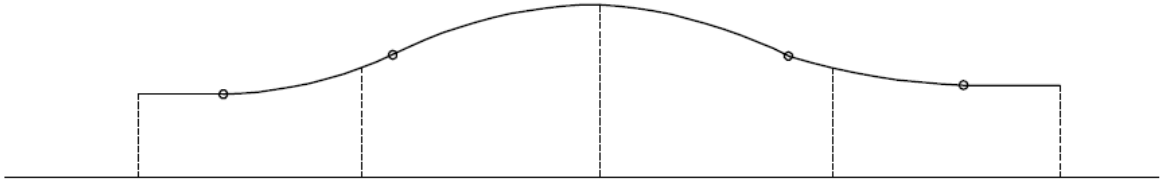


Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- En partes de la vía donde el terreno presente ondulaciones acentuadas, se deben utilizar curvas verticales convexas de mayor longitud que las

cóncavas, buscando con esto mejorar las condiciones de visibilidad en las partes altas.

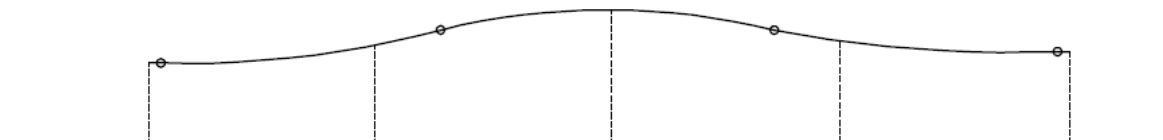
Figura 61. Curva vertical convexa de mayor longitud que las curvas verticales adyacentes.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- En terrenos planos o con ondulaciones bajas, se deben utilizar longitudes mayores para las curvas verticales cóncavas que para las convexas, buscando beneficiar las condiciones de visibilidad de las primeras. La anterior recomendación debe ser adoptada siempre y cuando no se infrinja la condición mostrada en la figura 35.

Figura 62. Curvas verticales cóncavas de mayor longitud que la convexa central.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

6.2 CRITERIOS GENERALES PARA GARANTIZAR LA ADECUADA INTERACCIÓN DE LA CARRETERA CON SUS INTERSECCIONES Y DEMÁS ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS.

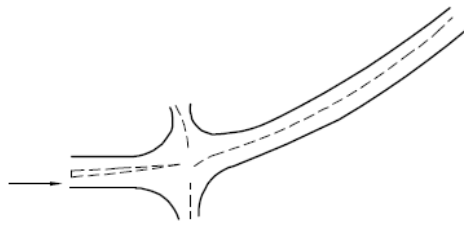
A continuación se ofrecen algunos criterios para la ubicación de obras auxiliares de la carretera, así como las intersecciones de ésta con otras vías.

6.2.1 Puentes e intersecciones

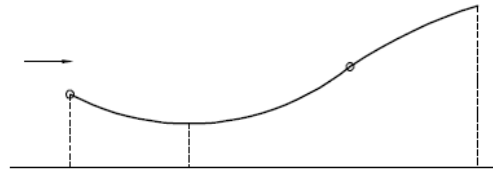
Las siguientes recomendaciones son válidas tanto para intersecciones a nivel como a desnivel.

- En el lugar donde estén ubicadas deben ofrecer una amplia visibilidad, tanto en la vía de transitada como hacia la vía o vías con que se interseca. Frecuentemente se aconseja el uso de curvas verticales cóncavas. En caso de no poderse cumplir esta condición para las dos vías, se le debe dar prioridad a la vía de mayor importancia (ver figura 36).
- La presencia de bifurcaciones no debe generar confusión a los conductores. Se debe resaltar la prioridad de la vía principal, y para la vía de menor importancia se debe diseñar la intersección mediante un ángulo pronunciado que provoque una respuesta adecuada por parte de quienes ingresan, así como una transición de velocidades segura y cómoda. (ver Figura 37.)

Figura 63. Localización recomendada de sitios de intersección



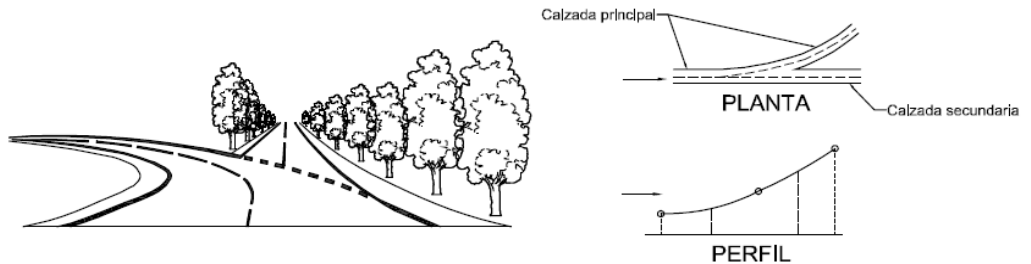
PLANTA



PERFIL

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

Figura 64. Efecto producido por una bifurcación



Condición indeseable

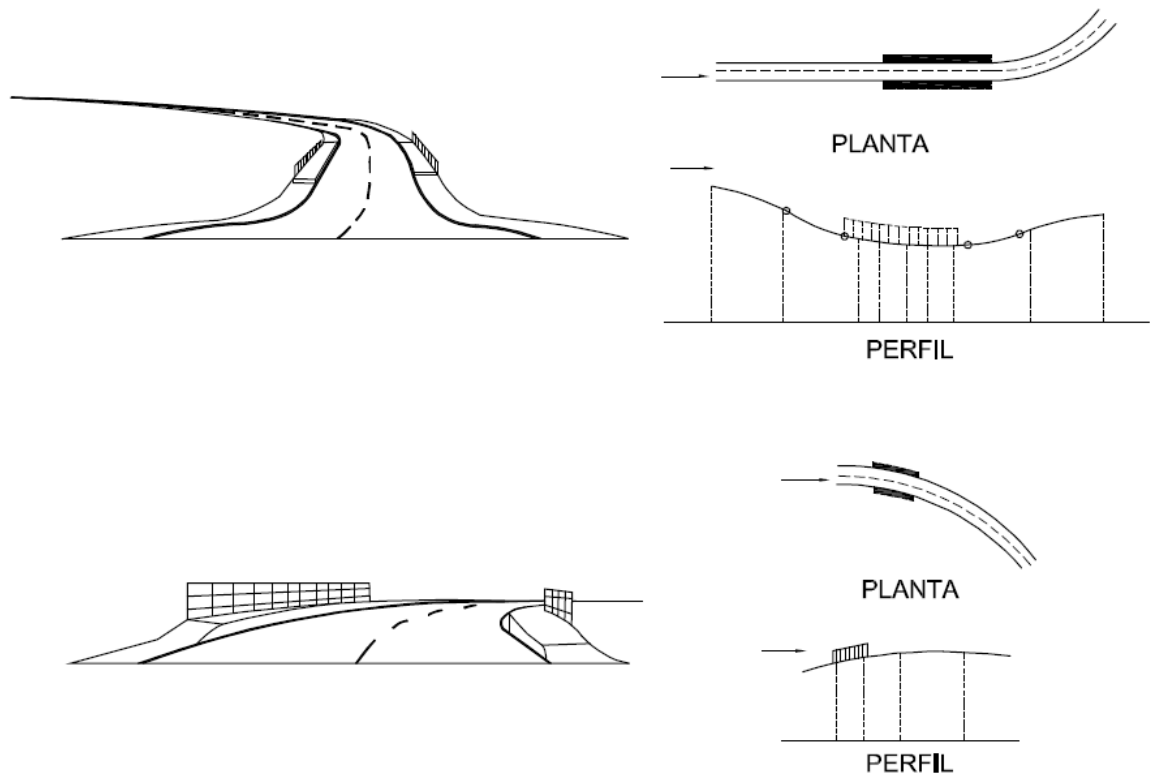


Condición deseable

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- La siembra de árboles en zonas cerca a la intersección puede servir para advertir a los conductores sobre la presencia de la misma, siempre y cuando la ubicación de los mismos no afecte las condiciones de visibilidad requeridas.
- En los sitios donde sea necesaria la construcción de un puente, su ubicación no deberá obstaculizar las condiciones de operación, para lo cual se debe procurar que su ubicación no genere condiciones geométricas forzadas.

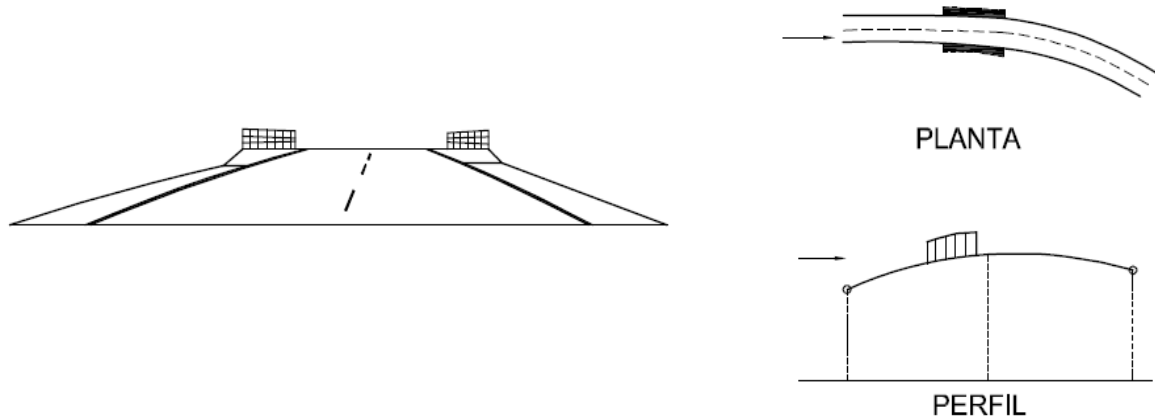
Figura 65. Situaciones indeseables por la ubicación errónea de un puente.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- Su sección transversal no genere efectos ópticos indeseables, tal como la disminución aparente del ancho de calzada.

Figura 66. Reducción aparente del ancho de la calzada.



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - 2008

- El trazado permita a los conductores su identificación oportuna evitando con esto la desorientación de los mismos por efecto “sorpresa”.
- El diseño de la serie de las intersecciones dentro del proyecto debe tener homogeneidad, esto para permitir mayor facilidad a los conductores en la visualización de lo movimientos.

6.2.2 Elementos de drenaje.

Para aumentar la vida útil de la vía y disminuir la afectación de la operación vehicular y peatonal, es necesario construir sistemas de drenaje acorde con las características del lugar.

En conclusión se puede decir que los elementos de drenaje no deben dificultar ni generar afectación en el momento de operar los vehículos, ya sea por disminución física o aparente del ancho de calzada.

A continuación se presentan recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta por el diseñador para lograr esta condición son:

- El drenaje debe contar con la capacidad de evitar la aglomeración de agua en la vía, esto con el fin de no generar disminución en la velocidad y evitar accidentes.
- El drenaje no se deben ubicar dentro de curvas horizontales de radios cercanos al mínimo, ya que obliga al conductor a realizar maniobras exigentes de frenado.
- El diseño de las cunetas, debe permitir la formación de una sección transversal segura y cómoda. Las secciones hidráulicas que puedan generar la detención de los vehículos y ocasionar accidentes se deben evitar al máximo.
- Las estructuras de drenaje deben permitir que en condiciones de funcionamiento normal no se presente acumulación de sedimentos ni residuos que propicien su colmatación.
- Se debe garantizar que en zonas de cruces de peatones no habrá acumulación de agua, por lo tanto se debe garantizar la ubicación de estructuras de captación de aguas, preferiblemente ubicadas aguas arriba de los cruces.
- Las obras de drenaje ubicadas en intersecciones deben contar con una ubicación y capacidad tal que no se genere el mal funcionamiento de las condiciones de operación de las mismas.
- En los sitios de descarga de las estructuras de drenaje se debe tener especial cuidado, para no generar daños en los predios adyacentes a la vía.

- En casos donde se presenten cambios en las pendientes de entrada y salida de curvas verticales cóncavas, se debe ubicar la estructura de drenaje en la parte más baja de la curva, para evitar la acumulación de agua.⁶⁰

6.2.3 Iluminación

La iluminación es de los principales elementos para garantizar la seguridad en la vía durante la noche, como no es posible instalar luminarias a lo largo de toda la vía, pese a lo costoso que sería, existen sitios y criterios definidos donde se pueden implementar estas medidas, tales como:

- El paso por zonas pobladas en las cuales la presencia y cruce de peatones puede generar accidentes.
- Presencia de concurrencias a nivel o a desnivel en las cuales la adecuada visibilidad es indispensable para la visualización del sitio así como la de todos sus accesos.
- Sitios de la carretera donde por las condiciones particulares no sea posible suministrar visibilidad nocturna adecuada, cumpliéndose un doble propósito para los conductores: aportar la visibilidad requerida y funcionar como una medida de prevención sobre la existencia de sitios críticos en el trazado.
- Desarrollo de puentes y viaductos, particularmente para el tránsito nocturno, donde la presencia de iluminación permite a los conductores anticipar los cambios en el alineamiento, cobrando mayor importancia en la medida que las longitudes de estos aumente.⁶¹

Según lo anterior, algunas guías básicas para la ubicación de luminarias en las carreteras son:

⁶⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 223.

⁶¹ Ibid., p. 224.

- No deben obstruir la visibilidad de los conductores, ni por luz ni por la ubicación de los postes soporte.
- La iluminación debe estar ubicada lo más alejadas posible de la calzada, con el fin de no ocasionar accidentes.
- No implementar luminarias de gran potencia en zonas pobladas por su afectación a los residentes.
- La separación entre luminarias debe ser la necesaria que suministre una intensidad lumínica aceptable y por consiguiente económica.

6.2.4 Redes de servicios.

Corresponde a un área en la cual resulta práctica la instalación de redes de servicio de diferentes niveles de beneficio, para lo cual se debe cumplir lo siguiente:

- En la ubicación de redes subterráneas, se debe evitar al máximo su ubicación dentro de la calzada. Cuando se requiera que éstas atraviesen la vía, es recomendable que se haga con ángulos cercanos a los 90° con el fin de minimizar el área afectada de la estructura del pavimento ante eventuales mantenimientos.
- Cumplir con las especificaciones de las empresas que prestan el servicio, para garantizar la separación horizontal y vertical entre redes.
- En el caso de redes aéreas, los postes se deben situar lo más alejado posible de la calzada buscando evitar accidentes.
- Ante la presencia de puentes, se deberá construir estructuras de paso independientes para las redes, evitando la instalación de las redes en éstos.

6.3 CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LOGRAR UN DISEÑO ESTÉTICO Y ARMONIOSO SON EL PAISAJE.

Lo que determina el grado de satisfacción para de los usuarios de las carreteras como de las comunidades adyacentes a las mismas corresponde a la interacción de la misma con su medio circulante; es así como el diseño no solo debe corresponder a la obtención de una franja tridimensional acorde con una serie de requerimientos de tipo geométrico y físico, sino al logro de un adecuado grado de acoplamiento de la misma con su entorno natural, es aconsejable que cumpla con los siguientes objetivos:

- Dentro de los elementos de patrimonio de las comunidades están las carreteras por tal razón se debe construir en parte integral del desarrollo de las regiones sobre las cuales influye.
- Sin dejar a un lado las condiciones de operación esperadas ni de los requisitos geométricos y de seguridad requeridos, la carretera debe respetar los entornos tanto ecológicos como topográficos sobre los cuales será construida.
- La carretera se convierte en un elemento esencial para el desarrollo de las regiones.

Las herramientas primordiales para la armonía y estética del proyecto, necesarias en todas las fases de formulación, son:

- Fotografías aéreas de la zona.
- Restituciones aerofotogramétricas.
- Sistemas de Información Geográfica.
- Registros visuales y escritos de los recorridos de campo.
- Estudios de Impacto Ambiental de cada una de las zonas del proyecto.

- Planos de diseño según la fase del proyecto correspondiente.
- Inventarios de flora y fauna de las distintas zonas de vida delimitadas.⁶²

A continuación se ofrecen algunos criterios para la definición de los elementos de la carretera de tal forma que se pueda lograr un diseño que satisfaga los objetivos planteados.

6.3.1 Corredor de ruta.

Su selección debe ir de la mano con los siguientes factores

- Grado de adaptación a la topografía natural.
- Uso del suelo.
- Presencia de atractivos naturales o antrópicos que el proyecto pueda resaltar.

Presencia de zonas en las que la construcción y operación del proyecto pudiera generar gran cantidad de impactos negativos y pocas oportunidades de mitigación o prevención.⁶³

6.3.2 Alineamiento horizontal.

Se consideran los siguientes aspectos:

- Los planteados en el corredor de ruta.
- La presencia de poblaciones y su afectación positiva o negativa.
- La factibilidad de establecer zonas de descanso para los conductores, miradores o estaciones de servicio.

⁶² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 226.

⁶³ Ibid.. p. 227.

6.3.3 Alineamiento vertical.

Si se desea captar la atención de los conductores con paisajes o sitios de interés, se deben emplear pendientes suaves.

6.3.4 Sección transversal

Además de contribuir a ofrecer un semblante armonioso de todos los elementos, influyen directa o indirectamente en la protección de los efectos naturales como lo son la erosión.

- **Cortes.** La estabilidad de los taludes está ligado a las características geológicas y geotécnicas del sitio donde se esté realizando este proceso. Se recomienda realizar el afinamiento de los taludes así como la suavización de los bordes superiores e inferiores de los mismos.
- **Terraplenes.** En el diseño de los terraplenes se deben considerar los siguientes aspectos:
 - La protección contra los procesos erosivos. Determinada por las pendientes, cobertura vegetal y obras de drenaje.
 - El mejoramiento del aspecto estético de la vía. Dependiendo de las pendientes transversales del terreno y de los terraplenes se podrá disminuir el efecto de discontinuidad sobre el paisaje.
 - El efecto combinado de terraplenes de baja altura con pendientes bajas de sus taludes se puede constituir en un factor favorable para la disminución de accidentes graves por vehículos que eventualmente se puedan salir de la vía.⁶⁴

⁶⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 228.

- **Separador central.** El diseño de los separadores centrales debe cumplir, al menos, con los siguientes criterios:
 - Sus dimensiones deben estar de acuerdo con la jerarquía de las vías que separan.
 - Su aspecto debe ser tal que contribuya a ofrecer una sensación agradable al os usuarios de la carretera.
 - En los casos de emplearse especies vegetales como forma de orientación, su tipo y ubicación no debe generar factores de riesgo de accidentalidad adicionales a la vía.
 - Su diseño debe permitir un adecuado drenaje sin generar los flujos de agua adicionales sobre las calzadas.
 - En lo posible, sus dimensiones deben permitir que estos elementos funcionen como zonas de ampliación de la vía en el futuro.
 - En los casos donde se requiera realizar variaciones de su ancho; la ubicación de las transiciones no deberá a generar confusión a los conductores por la percepción de variación súbita de la geometría.⁶⁵ (ver Figura 40).

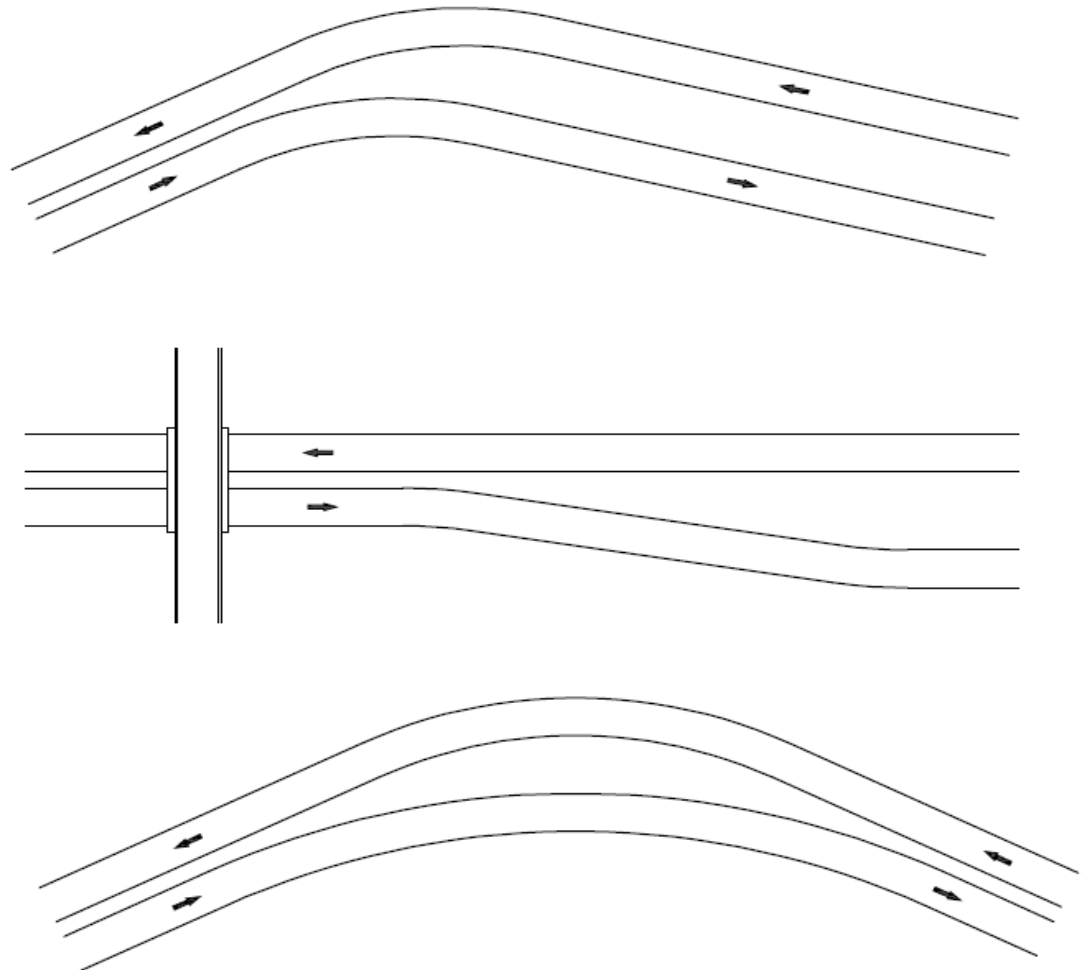
6.3.5 Intersecciones y estructuras complementarias.

Ya que su presencia no es muy notoria a medida que se transita, su diseño debe realizarse con especial atención, ya que ésta estructura le aportaría una ganancia estética adicional.

- **Con ubicación directamente sobre la carretera.** En conclusión su diseño debe ser lo más sencillo posible, evitando que surjan sitios de disminución de la sección transversal. Para poder llevar a cabo lo anterior se tienen las siguientes:

⁶⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 228.

Figura 67. Transiciones recomendadas en el ancho del separador central.



- A lo largo de la carretera es necesario que se realce su estética para que así el recorrido sea más agradable para los usuarios
- Se debe contar con una alta capacidad visual en los pasos a desnivel en su paso inferior especialmente en los puentes de luces cortas

- **Con ubicación a los lados de la carretera.** En el caso de estaciones de servicio de diferente tipo, su ubicación, además de respetar las condiciones operacionales y de seguridad, debe generar un impacto estético agradable en los sitios donde se encuentran localizadas. Algunos aspectos para el llevar a cabo este objetivo son:
 - Su diseño arquitectónico debe concordar con el estilo de la zona de ubicación, sin dejar a un lado los detalles estéticos.
 - Debe haber homogeneidad en los materiales empleados para la construcción, con el propósito de destacar las técnicas constructivas locales y ahorrar en los costos de materiales.

- **Con ubicación no visible desde la carretera.** Pueden intervenir de manera positiva o negativa para los residentes de la zona de influencia, como lo son las obras de drenaje vial y todas las obras de mitigación del impacto ambiental.

- **Plantaciones.** El uso de una variedad de especies vegetales crea un mejoramiento estético de la carretera, cumpliendo entre otras con las siguientes funciones:
 - Colaborar con la adaptación global de la carretera dentro del paisaje, mitigando una parte de los impactos negativos que la obra tendrá dentro del entorno.
 - Generar condiciones agradables de circulación para los usuarios al disminuir la monotonía generada por la superficie de rodadura.
 - Proteger en parte la integridad de la obra ante los efectos derivados de los procesos de erosión y depósito.
 - Anticipar a los conductores sobre la presencia de cambios en el alineamiento horizontal y vertical, y la presencia de interacciones o paso por zonas pobladas.

Para tener criterios para determinar el tipo y la ubicación de las especies vegetales, podemos seguir las siguientes recomendaciones:

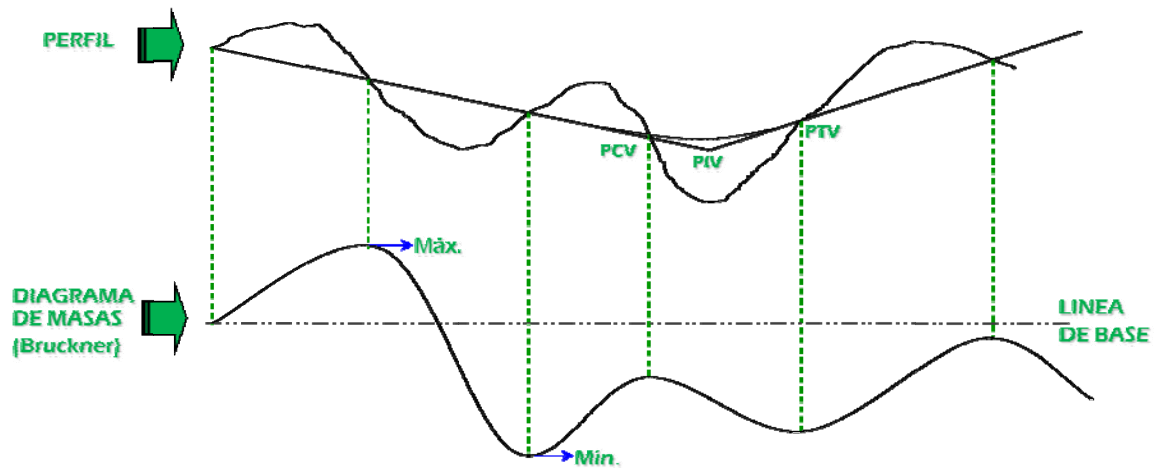
- La definición de las especies dependerá de lo definido en los estudios de impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental respectivos para el sector.
- Su ubicación no debe generar riesgo para la operación vehicular, ni por disminución en la visibilidad ni por constituirse en elementos de alta susceptibilidad a colisiones. En este sentido, en las curvas horizontales, la ubicación de árboles se hará únicamente en su parte exterior.⁶⁶

- **Proceso constructivo.** Algunas recomendaciones a tener en cuenta en el proceso constructivo de la vía, desde las primeras etapas del diseño:

- Procurar realizar mayores afectaciones al entorno natural que las estrictamente previstas en el proceso de diseño.
- Todo el proceso de recuperación del entorno se debe estipular en los planes de manejo ambiental del proyecto.
- Una vez terminados los procesos que requieren de alguna forma el retiro de la capa vegetal se debe recuperar en lo posible las capas orgánicas y especies
- La entidad que proporciona los préstamos y depósitos de tierras deberá cumplir con todos los requerimientos técnicos y legales vigentes al momento de la construcción de la carretera.

⁶⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008. p. 231.

Figura 69. Diagrama de Bruckner



7.1 Propiedades del Diagrama de masas.

- La curva crece con los cortes y decrece con los terraplenes. Los puntos máx. (paso de corte a terraplén) y los puntos mín. (paso de terraplén a corte), corresponde al punto de corte de la curva de áreas con la horizontal \approx puntos de ceros longitudinales.
- La ordenada de la curva medida desde la línea de base representa los volúmenes de explanación acumulados desde el origen (corte o terraplén) o punto de corte de la curva con la línea base.
- La diferencia de ordenadas entre dos puntos de la curva de masas con respecto a una horizontal cualquiera, da el volumen de corte o terraplén entre dichos puntos.
- Entre dos puntos de intersección consecutivos de la curva de masas con una horizontal existe compensación de corte y terraplén entre las secciones correspondientes en el perfil.

La figura cerrada se llama "Bucle", onda o cuenta cantera de compensación.

Si la onda de compensación está por encima de la línea base (horizontal) indica que el movimiento de tierra es en el sentido del abscisado y si está por debajo, el movimiento es hacia atrás.

- De la misma manera que la línea base (horizontal) define sectores de movimientos de tierras compensados, también cualquier otra recta horizontal que corte a la curva de masas en dos puntos, determina zonas de compensación entre cortes y rellenos (LÍNEAS COMPENSADORAS), y la ordenada máxima de la onda respectiva indica el volumen de tierra a mover.
- El área entre la curva de masas y una horizontal (compensadora) es la medida de la CANTIDAD DE TRANSPORTE expresada en $m^3 - m$ (**MOMENTO DE TRANSPORTE**).
- La longitud medida de transporte de una onda cualquiera se obtiene del cociente del área de la onda entre la ordenada máxima.

7.2 Limitaciones del Diagrama de Masas.

- El trazado de la vía no permite compensación. En terreno montañoso la vía va en corte, en terreno plano en terraplén y a media ladera los cortes son mayores a los terraplenes.
- La naturaleza del material extraído de los cortes.
- Distancia de acarreo del material entre corte y terraplén.

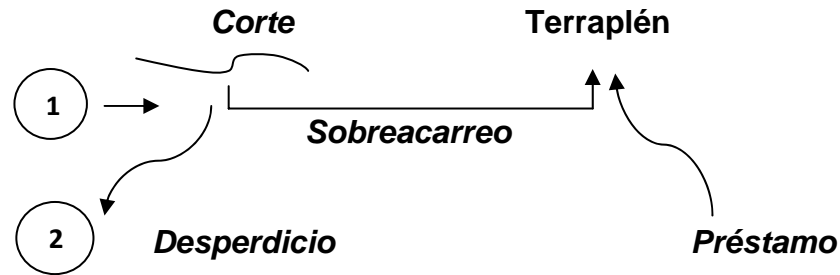
7.3 Compensación de volúmenes.

Para hacer mínima la distancia de transporte se debe estudiar unas COMPENSADORAS que hagan mínima la suma de las áreas de las canteras de compensación comprendidas entre ellas y la curva de masas; pero esto puede

implicar prestamos y desperdicios, que pueden costar más que el ahorro de transporte.

Las compensadoras se deben trazar de longitud menor o igual al LIMITE MAXIMO DE TRANSPORTE ECONÓMICO (D_{AE}).

- Límite máximo de acarreo económico (D_{AE}).



Comparación de costos $C_e =$ Costo de excavación $\$/m^3$
Casos 1 y 2 $C_s =$ costo de sobrecarreo $\$/m$

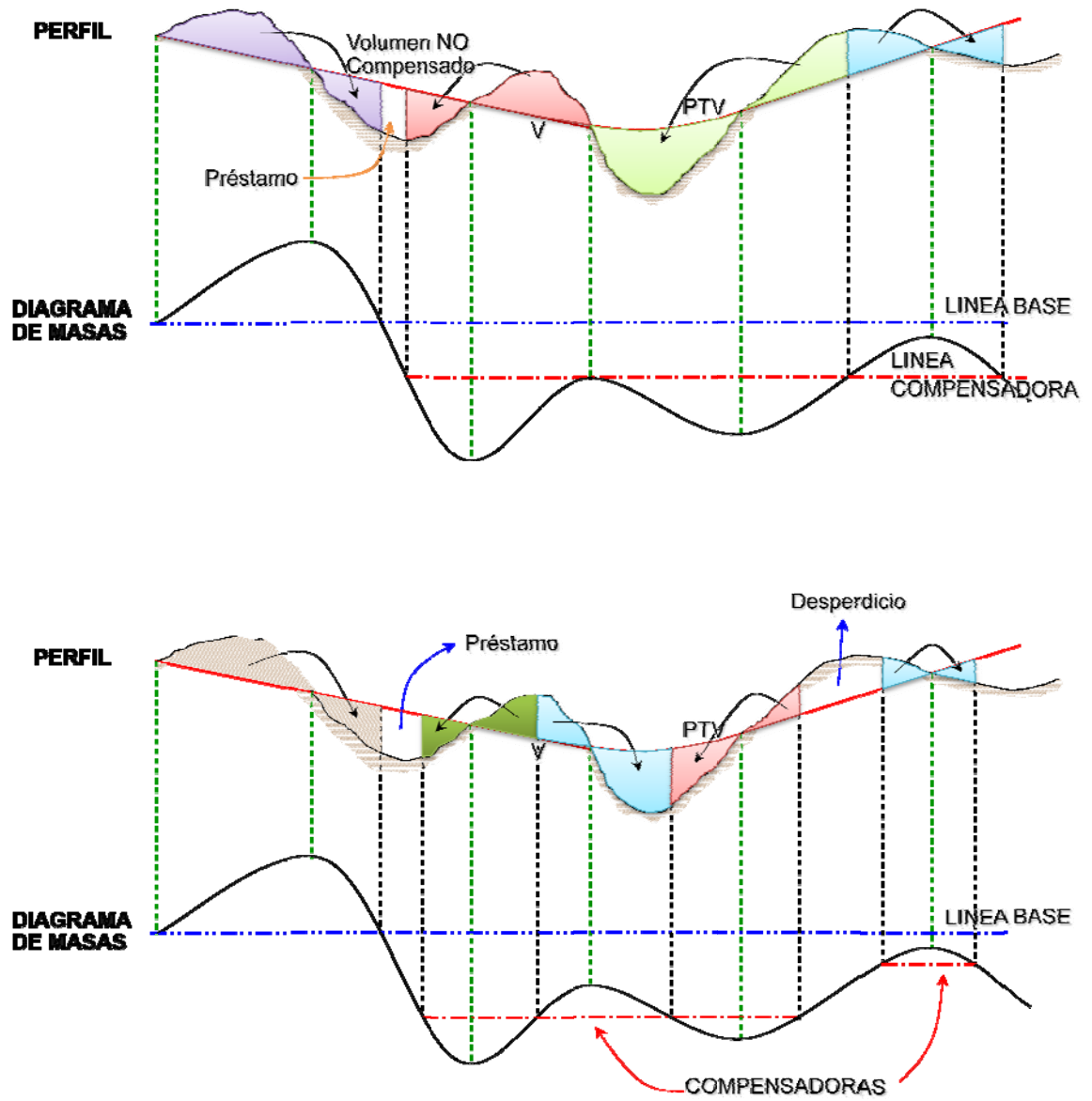
$$C_e + C_s D_s = C_e + C_e \quad \Rightarrow \quad D_s = \frac{C_e}{C_s} \quad D_{AE} = D_s + D_L$$

- Alternativas:
 - Si falta material para un terraplén se aumenta el corte en un tramo inmediato con moderada amplitud en el ancho de la excavación.
 - Si sobra material de corte se vacía en un terraplén vecino con ampliación de corona de la vía sin afectar su aspecto estético.

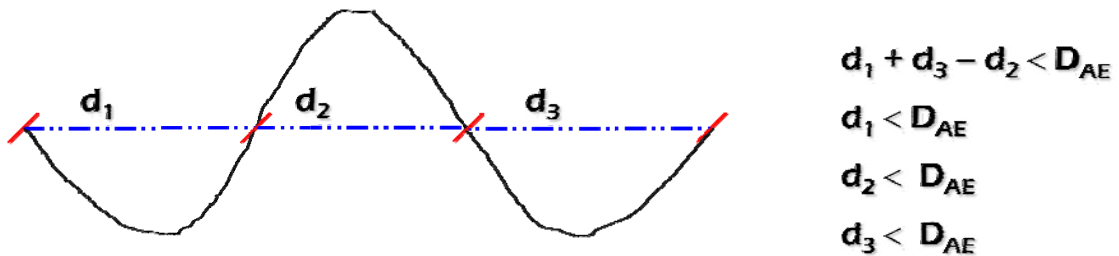
Se deben tantear diferentes líneas compensadoras, para estudiar los sistemas posibles de acarreo en un sector de la construcción para adoptar el más conveniente y asumir la distancia media de transporte de acuerdo con el tipo de maquinaria disponible en la obra y el límite máximo de acarreo económico (D_{AE}).

(Ver figura 71)

Figura 70. Tanteo de Líneas Compensadoras



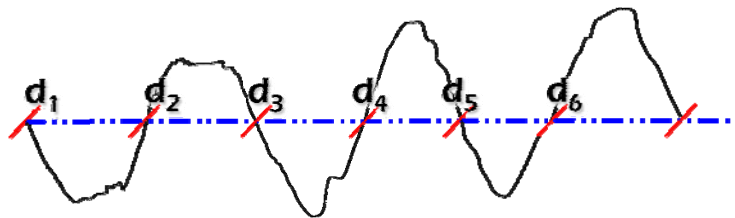
7.3 Criterios para el trazado de compensadoras.



- Para número impar de ondas de compensación debe cumplirse:

$$(\sum d_{impares} - \sum d_{pares}) \leq D_{AE}$$

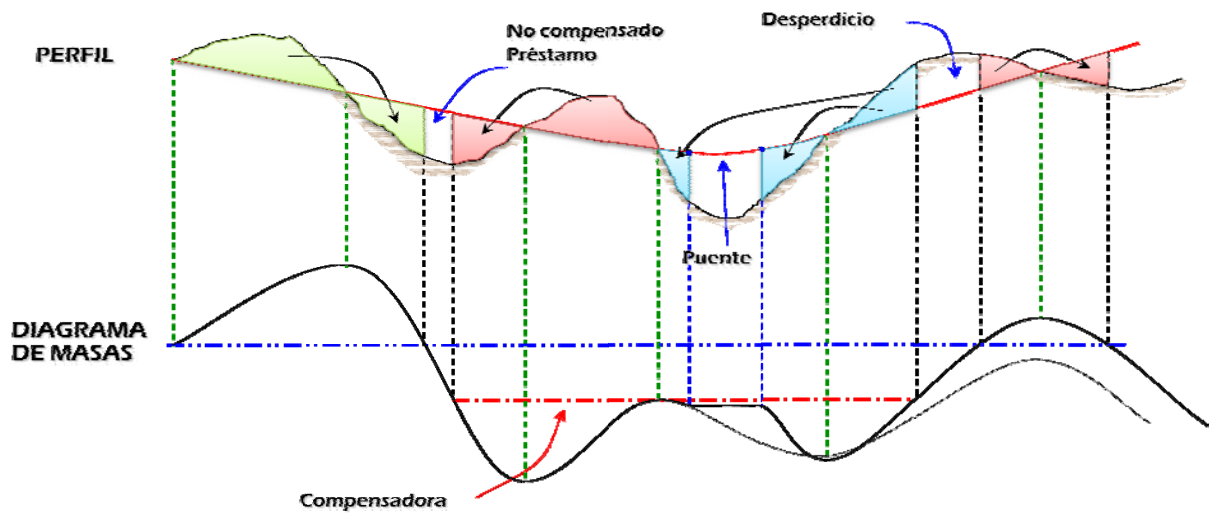
$$\forall d_i < D_{AE}$$



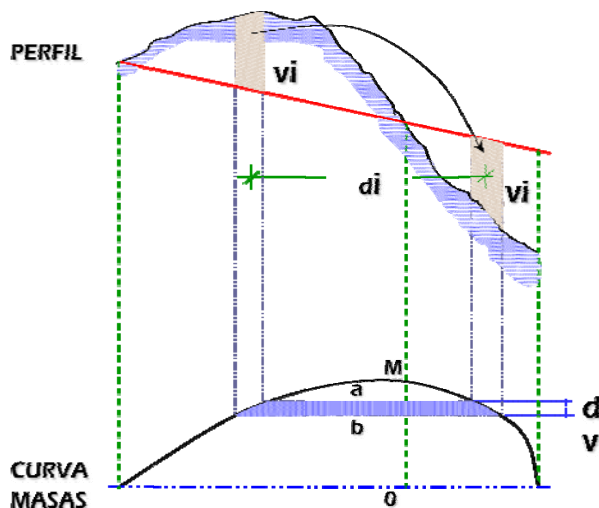
7.3.1 Generalización

- La posición más económica de una compensadora que corta un número par de ondas es aquella en la que la suma de los segmentos que cortan ondas convexas es igual a la suma de los que cortan ondas cóncavas y cada uno es menor que el Límite Máximo de Acarreo Económico.
- Dos compensadoras adyacentes no deben traslaparse (uso de una parte del diagrama dos veces). Si se llegaran a traslapar solo se analiza la compensadora de menor distancia de transporte. (Ver figura 72)

Figura 71. Modificación de las Curvas de Masas.



7.4 Cantidad de transporte y análisis de distancias de acarreo



$V_i = d_v =$ Volumen elemental

$d_i =$ Distancia media de acarreo

$$d_i = \frac{a+b}{2}$$

Área trapecio elemental:

$$\left(\frac{a+b}{2}\right) dv = d_i \times v_i$$

Integrando

$$\int_0^M \left(\frac{a+b}{2}\right) dv$$

= Área onda de compensación
= Momento o cantidad de transporte

Área onda = Momento de transporte = $V \times D$

Distancia media de transporte = $\frac{\text{Área onda compensación}}{\text{Ordenada máxima de la onda}}$

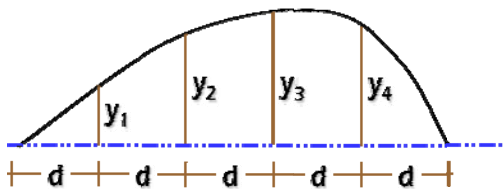
Escala del diagrama de masas:

E_v $\boxed{1 \text{ cm}^2}$ $E_H = 1:1000$ \rightarrow $1 \text{ cm} = 10 \text{ m}$
 E_x $E_v = 1 \text{ cm}: 1000 \text{ cm}^3$ \rightarrow $1 \text{ cm}^2 \text{ diagrama de masas} = 10000 \text{ m}^3\text{-m}$

Medición de áreas

- Con planímetro
- Con la fórmula de trapecios o Simpson

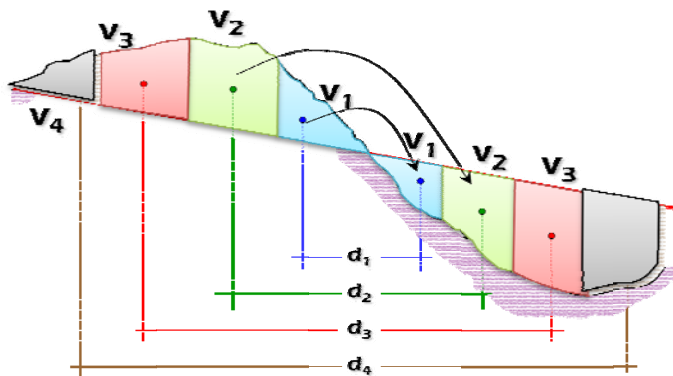
Áreas por trapecios



$$A = \frac{y_1}{2}d + \frac{y_1 + y_2}{2}d + \frac{y_2 + y_3}{2}d + \frac{y_3 + y_4}{2}d + \frac{y_4}{2}d$$

$$A = d \sum_i^n y_i$$

7.5 Medida de transporte y Distancia media de acarreo

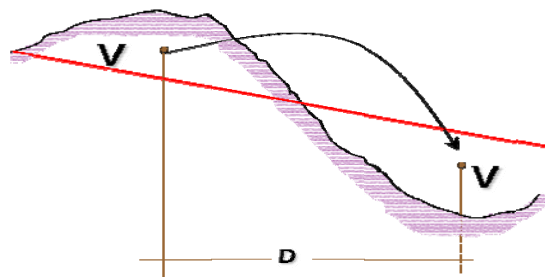


V_i = Volúmenes elementales equivalentes.

d_i = Distancias de acarreo entre c.d.g.

$$\text{Si } V = \sum V_i \Rightarrow \sum V_i \times d_i = V \times D$$

= **Momento o cantidad de transporte**



$$D = \frac{\sum V_i \times d_i}{V} = \text{Distancia media de transporte}$$

$m^3 \cdot m$

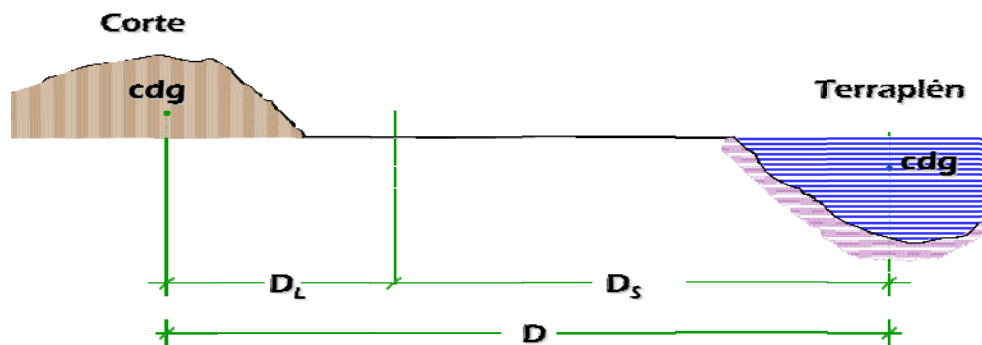
$m^3 \cdot \text{Est}$

$m^3 \cdot \text{Km}$

$$\text{Costo de transporte} = K\$ \cdot V \cdot D$$

Fijo

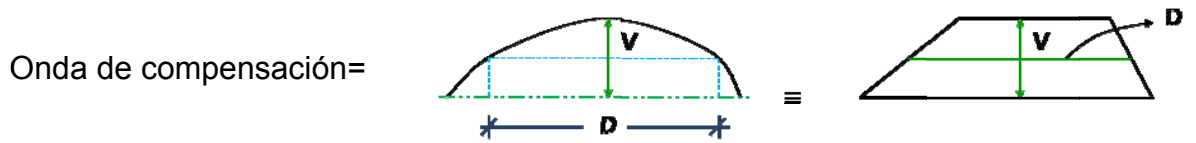
El costo se reduce minimizando acarreo.



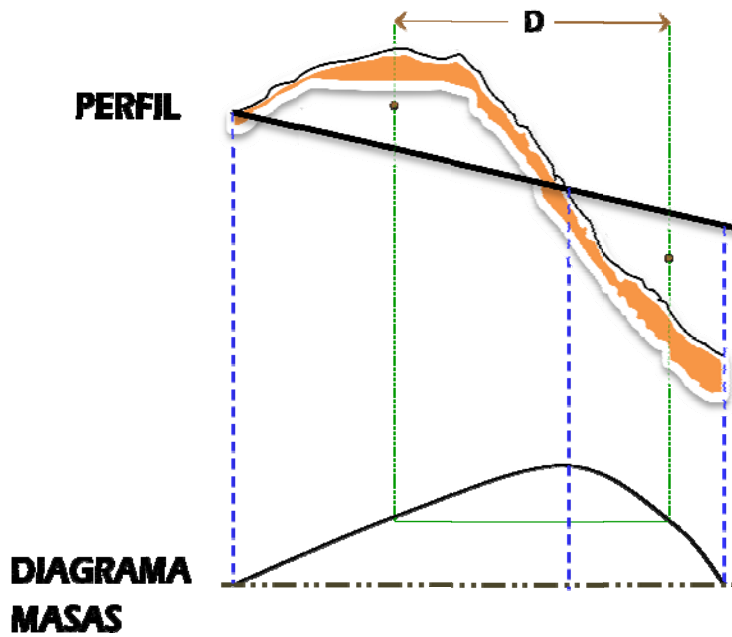
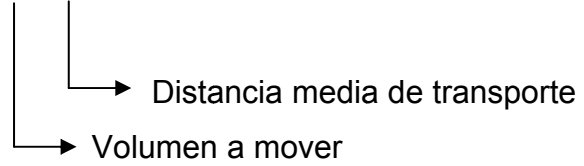
D_L = Distancia de acarreo libre

D_S = distancia de sobrecarreo o exceso de transporte

7.6 Método gráfico para la distancia media de transporte



$$\text{Área de onda} = V \times D$$

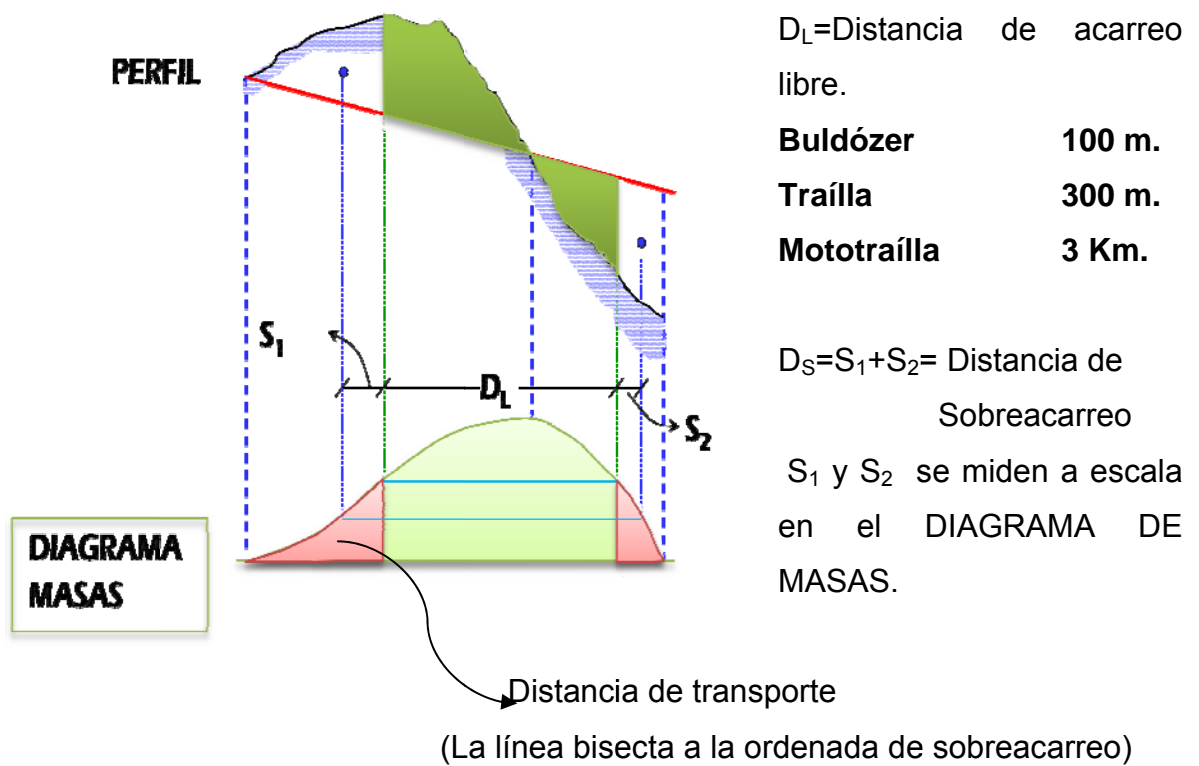


El método gráfico da aproximación suficiente para los cálculos en la práctica.

7.7 Análisis de sobrecarros en el diagrama de masas

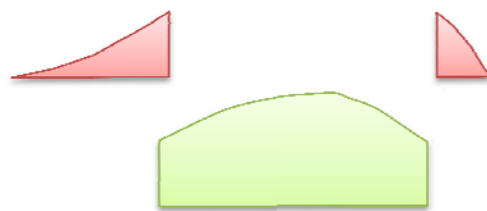
Una de las mayores utilidades en el diagrama de masas es la de la facilidad para determinar las distancias de sobrecarreo y los volúmenes de material correspondientes para los pagos de los contratistas.

Es realmente impracticable de otra manera, medir el exceso para cada carga y las mayores distancias de transporte sobre la de acarreo libre.



Ordenada = Volumen de sobrecarreo.

Areas



Cantidad de transporte de SOBRECARREO

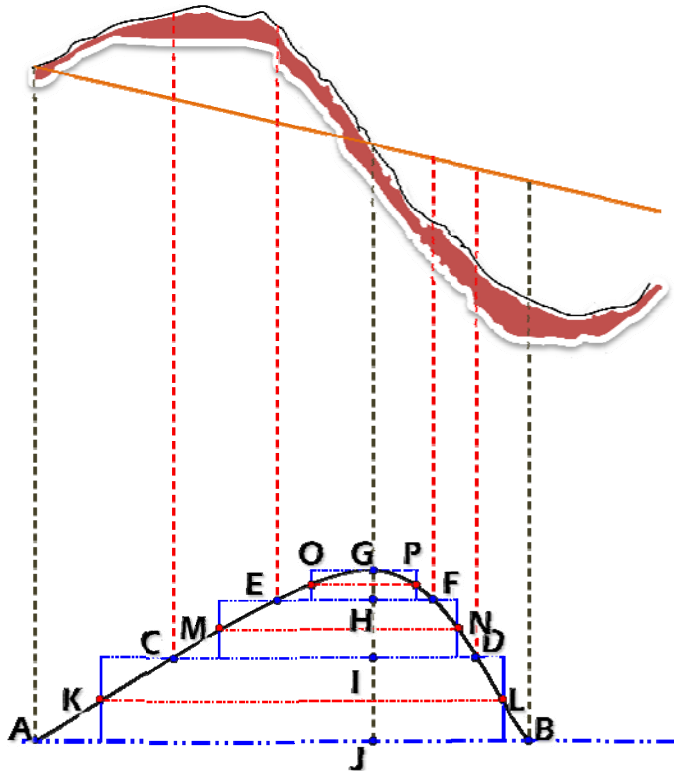


ACARREO LIBRE

$$\text{Cantidad de sobrecarreo} = V_S \times D_S$$

- Existen varios modos de transporte los cuales, se pueden apreciar en la figura 73.

Figura 72. Utilización de varios modos de transporte



Si AB es grande puede utilizar varias clases de equipos de transporte.

Por ejemplo:

Buldócer: 40 m. (EF)

Traíllas: 40-500 m. (CD)

Volquetas: > 500 m.

El diagrama de masas permite determinar VOLÚMENES DE MATERIAL, CANTIDAD DE TRANSPORTE Y DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE.

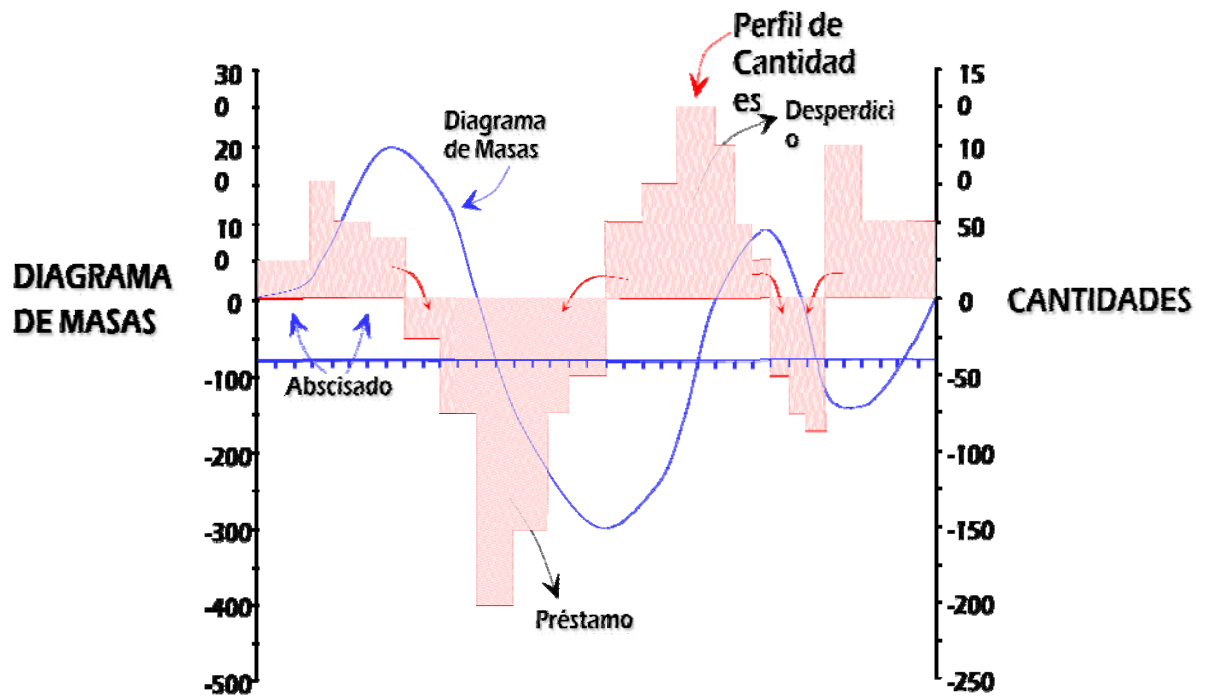
Tabla 31. Equipos utilizados en el transporte

EQUIPO	VOLUMEN	CANTIDAD DE TRANSPORTE	DISTANCIA MEDIA
Bulldozer	$V_1 = G H$	$T_1 = \text{Área EGF}$	$O P = T_1 / V_1$
Traíllas o Vagones	$V_2 = H I$	$T_2 = \text{Área CEFD}$	$M N = T_2 / V_2$
Volquetas	$V_3 = I J$	$T_3 = \text{Área ACDB}$	$K L = T_3 / V_3$

7.8 Perfil de cantidades como auxiliar del diagrama de masas

Diagrama de barras de volúmenes netos de corte (+) o terraplenes (-) correspondientes a los tramos entre estaciones consecutivas. Ayuda a hacer más real el diagrama de masas y visualizar mejor el transporte de materiales necesidades de préstamos o desperdicios, especialmente para distancias grandes de transporte. (Ver figura 74).

Figura 73. Perfil de Cantidades



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se presenta el contenido temático de la asignatura Diseño vial mediado por TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)
- Todo el material fue elaborado en Macromedia Flash; programa conocido y práctico para ilustrar animaciones y contenido textual.
- El aprendizaje y la forma de transmitir los contenidos de la materia se plantean de una forma más didáctica y agradable, con el fin de facilitar la recepción y comprensión de los mismos.
- Se recomienda el mejoramiento continuo de esta herramienta y su actualización acorde con las normas para el diseño geométrico de carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. República de Colombia, 1998.
- CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá D.C, 2005.
- BRAVO, Paulo Emilio. Diseño de Carreteras, técnicas y análisis del proyecto, Sexta Edición. Bogotá D.C.
- <http://www.transformando.com/minisitios/tecnología/escritorio/paginas/cont1D.htm>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cortes_p_ca/capitulo4.pdf
- NARANJO M, Kleber Enrique. Cuervas de Transición en Carreteras. Manual de espirales clotoideas. Armenia, 1992.
- CHOCONTÁ, Pedro. Apuntes de Diseño Geométrico de Vías. Universidad Nacional de Colombia. 225p
- SALAS R, Miller. Diseño Geométrico de Carreteras.