

GUÍA METODOLÓGICA COMO APOYO A LA MATERIA DE DISEÑO VIAL

**HECID ANDRES SANDOVAL ARAQUE
YENNY FERNANDA PEREZ PALENCIA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

GUÍA METODOLÓGICA COMO APOYO A LA MATERIA DE DISEÑO VIAL

**HECID ANDRES SANDOVAL ARAQUE
YENNY FERNANDA PEREZ PALENCIA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Civil**

**Director:
SANDRA MILENA COTE VARGAS
MSc. En ingeniería civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. CARRETERAS	26
1.1 GENERALIDADES	26
2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS	28
2.1 SEGÚN SU FUNCIÓN	28
2.1.1 Carreteras primarias o de primer orden	28
2.1.2 Carreteras secundarias o de segundo orden	28
2.1.3 Carreteras terciarias o de tercer orden	28
2.2 SEGÚN EL TIPO DE TERRENO	29
2.3 SEGÚN SU COMPETENCIA	30
2.3.1 Carreteras nacionales	30
2.3.2 Carreteras departamentales	30
2.3.3 Carreteras veredales	31
2.3.4 Carreteras distritales y municipales	31
2.4 SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS	31
2.4.1 Autopistas	31
2.4.2 Carreteras de dos carriles	31
3. ETAPAS DE UN PROYECTO DE CARRETERAS	32
3.1 ETAPA DE PRE INVERSIÓN	32
3.1.1 Pre factibilidad	32
3.1.2 Factibilidad	32
3.2 ETAPA DE INVERSIÓN	33
3.3 ETAPA OPERACIONAL	33
3.4 EVALUACIÓN FINAL	34
4. ASPECTOS FUNDAMENTALES	35
4.1 LA VELOCIDAD	35

4.1.1 La velocidad de diseño del tramo homogéneo.....	35
4.1.2 Velocidad de marcha	37
4.1.3 Velocidad de operación.....	37
5. GENERALIDADES SOBRE EL TRAZADO DE CARRETERAS	38
5.1 SELECCIÓN DE RUTAS	38
5.2 EVALUACIÓN DE RUTAS.....	39
5.3 INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN EL TRAZADO	40
5.3.1 Tipos de Terreno.....	41
5.3.1.1 Terreno Plano	42
5.3.1.2 Terreno Ondulado.....	43
5.3.1.3 Terreno Montañoso.....	44
5.3.1.4 Terreno Escarpado	45
6. TRAZADO DE LINEA DE CEROS.....	46
6.1 TRAZADO DE LÍNEA ANTEPRELIMINAR	49
6.2 LÍNEA PRELIMINAR.....	51
7. DISEÑO GEOMETRICO.....	54
7.1 ALINEAMIENTO HORIZONTAL	54
7.2 DEFINICIONES	54
7.3 CURVA CIRCULAR SIMPLE	55
7.3.1 Elementos.....	55
7.3.1 Abscisado de la curva	58
7.3.2 Ejercicios resueltos	59
7.4 CURVAS COMPUESTAS.....	61
7.4.1 Curvas circulares compuestas de dos radios.....	61
7.4.2 Curvas circulares compuestas de tres radios	64
7.5 CURVAS ESPIRALIZADAS.....	66
7.6 LA CLOTOIDE O ESPIRAL DE EULER	67
7.6.1 Elementos de la espiral clotoide	67
7.6.2 Longitud mínima según variación de la aceleración centrífuga.....	71
7.7 CURVA ESPIRAL CIRCULAR ESPIRAL.....	73

7.7.1 Curva espiral circular espiral simétrico	73
7.7.2 Curva espiral circular espiral asimétrico	76
7.8 CURVA ESPIRAL – ESPIRAL.....	78
8. SECCIÓN TRANSVERSAL	80
8.1 ELEMENTOS.....	80
8.1.1 Ancho de zona o derecho de vía.	81
8.1.2 Corona	81
8.1.2.1 Calzada.....	82
8.1.2.2 Pendiente Transversal.	82
8.1.2.3 Rasante.....	83
8.1.2.4 Bermas.....	83
8.1.3 Banca.....	84
8.1.4 Cunetas.....	84
8.1.5 Taludes	85
8.1.6 Separador	85
8.1.7 Carriles especiales.....	87
8.1.8 Bordillo o sardinel.	90
8.1.9 Defensas.....	90
9. DISEÑO DE PERALTE.....	92
9.1 DINÁMICA DE UN VEHÍCULO EN LA CURVA	92
9.2 VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL.....	93
9.3 PERALTE MAXIMO	94
9.3.1 Para carreteras Primarias y Secundarias.....	95
9.3.2 Ejercicio	96
9.4 RADIOS MINIMOS ABSOLUTOS.....	97
9.5 DESARROLLO DEL PERALTE	100
9.6 CONVENCION DEL PERALTE	101
9.7 LONGITUD DE TRANSICION DEL PERALTE	102
9.7.1 Rampa de peraltes.....	103
9.7.2 Transición del bombeo.....	104

9.8 DESARROLLO DEL PERALTE CON SEPARADOR CENTRAL	105
9.9 UBICACIÓN DE LA LONGITUD DE TRANSICIÓN	106
9.9.1 Curva Espiral - Circular - Espiral.....	106
9.9.2 Curva Espiral – Espiral.....	107
9.9.3 Curvas circulares.	108
9.10 CALCULO DE PERALTE.....	109
9.11 EJERCICIOS RESUELTOS.....	112
9.12 ENTRETANGENCIA.....	119
9.12.1 Longitud mínima.	119
9.12.2 Longitud Máxima.....	120
9.13 PERALTE FORZADO	120
9.13.1 Curvas de diferente sentido	121
9.13.2 Curvas del mismo sentido.....	122
10. VISIBILIDAD EN CARRETERAS.....	124
10.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.....	124
10.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO	129
10.3 EVALUACION DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD	136
10.3.1 Distancia de visibilidad en planta.	136
10.3.2 Distancia de visibilidad en alzada.	137
10.4 VISIBILIDAD EN CURVAS VERTICALES	139
10.4.1 Curva vertical convexa.....	139
10.4.2 Curva vertical cóncava.....	142
11. ALINEAMIENTO VERTICAL.....	147
11.1 ELEMENTOS	147
11.1.1 Perfil.....	148
11.2.2 Rasante.....	149
11.3 ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL.....	150
11.4 CURVA VERTICAL SIMÉTRICA.	151
11.5 CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA	152
11.6 TIPOS DE CURVA VERTICAL	153

11.6.1 Curva vertical convexa.....	153
11.6.2 Curva vertical cóncava.....	154
11.7 LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL	155
11.8 CÁLCULO DE CURVA VERTICAL	156
11.9 EJERCICIO RESUELTO.....	157
12. SOBREALCHO	164
12.1 CÁLCULO DEL SOBREALCHO.....	165
12.2 TRANSICIÓN DEL SOBREALCHO	166
12.3 LONGITUD DE TRANSICION	168
12.3.1 Curvas espiralizada.	168
12.3.2 Curvas circulares	168
12.4 CALCULO DE LA TRANSICION DEL SOBREALCHO	169
12.5 EJEMPLOS.....	170
13. MOVIMIENTOS DE TIERRA	172
13.1 SECCIÓN TRANSVERSAL ESQUEMA.....	173
13.2 SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS	174
13.3 CÁLCULO DE ÁREAS	176
14. CHAFLANES	180
14.1 DETERMINACIÓN DE CHAFLANES	180
14.2 CALCULO DE ÁREAS	186
14.3 CALCULO DE VOLUMENES.....	189
15. CONTROL DE INFORMES.....	193
15.1 CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME DE DISEÑO GEOMÉTRICO.....	193
15.1.1 Proyecto de una carretera Secundaria y Terciaria	193
15.2 MODELOS BÁSICOS DE CARTERAS Y PLANOS	195
15.3 MODELOS DE PLANOS.....	201
16. CONCLUSIONES	206
BIBLIOGRAFÍA	207

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de Terreno.....	29
Tabla 2. Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.....	36
Tabla 3. Valores del inverso del coeficiente de tracción.	40
Tabla 4. Tipos de Terreno.....	41
Tabla 5. Pendientes máximas para diferentes velocidades de diseño.....	46
Tabla 6. Longitud mínima absoluta de espiral.....	73
Tabla 7. Ancho de zona	81
Tabla 8. Ancho de Calzada (metros)	82
Tabla 9. Bombeo de la calzada.....	83
Tabla 10. Ancho de Bermas.....	84
Tabla 11. Abertura del separador en función del ancho.	86
Tabla 12. Carriles de desaceleración.....	88
Tabla 13. Carriles de aceleración	89
Tabla 14. Coeficiente de fricción lateral	94
Tabla 15. Radios según la velocidad de diseño y peralte para $e(\max)= 8\%$	96
Tabla 16. Radios mínimos absolutos	98
Tabla 17. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes	104
Tabla 18. Coeficiente de fricción longitudinal (fl).....	128
Tabla 19. Distancia de visibilidad de parada.....	128
Tabla 20. Distancia mínima de adelantamiento.	133
Tabla 21. Distancia de visibilidad de adelantamiento según AASHTO.	134
Tabla 22. Distancia mínima de visibilidad de adelantamiento según AASHTO. ...	135
Tabla 23. Oportunidad de adelantar por tramos de 5 km.....	136

Tabla 24. Valores mínimos de Kv, para curvas verticales convexas y cóncavas con
visibilidad de parada (criterio de seguridad) 146

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Tipos de terreno en carreteras	30
Ilustración 2. Construcción de carretera en Terreno plano	43
Ilustración 3. Diseño alineamiento vertical en Terreno Ondulado	44
Ilustración 4. Sección mixta	44
Ilustración 5. Sección transversal con muro	45
Ilustración 6. Línea de pendiente.....	47
Ilustración 7. Línea de ceros.....	49
Ilustración 8. Línea ante preliminar.....	50
Ilustración 9. Línea Preliminar.....	52
Ilustración 10. Levantamiento secciones transversales a la línea preliminar.....	52
Ilustración 11. Elementos geométricos de una curva circular	56
Ilustración 12. Grado de curvatura.....	57
Ilustración 13. Valor de la cuerda.....	58
Ilustración 14. Curva compuesta de 2 radios	62
Ilustración 15. Curva compuesta por tres radios.....	64
Ilustración 16. Elementos del empalme espiral Clotoide.....	68
Ilustración 17. Elementos del empalme espiral - círculo - espiral (simétrico).....	74
Ilustración 18. Elementos del empalme espiral - círculo - espiral (asimétrico).....	77
Ilustración 19. Geometría curva espiral – espiral.....	79
Ilustración 20. Sección transversal	80
Ilustración 21 Sección Transversal en Vías Secundarias	81
Ilustración 22. Cuneta	85
Ilustración 23. Sección con separador central y latera.....	86
Ilustración 24. Abertura del separador	87
Ilustración 25. Carril de desaceleración paralelo	88

Ilustración 26. Carril de desaceleración directa	88
Ilustración 27. Carril de aceleración.....	89
Ilustración 28. Dinámica de un vehículo en una curva.....	92
Ilustración 29. Relación peralte - radio velocidad - radio	100
Ilustración 30. Convención del peralte	102
Ilustración 31. Transición del peralte	102
Ilustración 32. Desarrollo del peralte con separador central	105
Ilustración 33. Transición de peralte en curva Espiral - Circular - Espiral.	106
Ilustración 34. Transición del peralte en curva Espiral - Espiral.....	108
Ilustración 35. Diagrama del peralte al 70%	109
Ilustración 36. Peralte en un punto cualquiera p.....	110
Ilustración 37. Peralte forzado curvas de diferente sentido	121
Ilustración 38. Abscisado Peralte forzado curvas de diferente sentido	122
Ilustración 39. Peralte forzado en curvas de igual sentido.....	123
Ilustración 40. Distancia de visibilidad de parada.	125
Ilustración 41. Distancia de adelantamiento en carreteras de dos carriles, dos sentidos.	130
Ilustración 42. Análisis de visibilidad en planta.	137
Ilustración 43. Plantilla para análisis de visibilidad alzada.	138
Ilustración 44. Análisis de visibilidad alzada.	138
Ilustración 45. Visibilidad en curva vertical convexa con $D_{vp} > L_v$	140
Ilustración 46. Visibilidad en curva vertical convexa con $D_{vp} < L_v$	141
Ilustración 47. Longitud de curva vertical convexa.....	142
Ilustración 48. Visibilidad en curva vertical cóncava con $D_{vp} > L_v$	143
Ilustración 49. Visibilidad en curva vertical cóncava $D_{vp} < L_v$	144
Ilustración 50. Longitud de curva vertical cóncava.....	145
Ilustración 51. Elementos alineamiento vertical.	148
Ilustración 52. Perfil del terreno.	148
Ilustración 53. Elementos de una curva vertical.....	150
Ilustración 54. Curva vertical simétrica	151

Ilustración 55. Curva vertical asimétrica	152
Ilustración 56. Curva vertical convexa	154
Ilustración 57. Curva vertical cóncava	155
Ilustración 58. Valores de K	156
Ilustración 59. Esquema ejercicio	158
Ilustración 60. Trayectoria de las ruedas de un vehículo en curva	164
Ilustración 61. Sobreancho requerido en una curva.....	165
Ilustración 62. Transición del sobreancho en curva espiralizada	167
Ilustración 63. Transición del sobreancho en curva circular simple	168
Ilustración 64. Cálculo de transición de sobreancho.....	169
Ilustración 65. Áreas de explanación	172
Ilustración 66. Elementos para el cálculo de áreas y chaflanes.....	174
Ilustración 67. Sección en corte o excavación	175
Ilustración 68. Sección en lleno o terraplén	175
Ilustración 69. Sección mixta (Corte y Relleno)	176
Ilustración 70. Sección en corte en ladera	176
Ilustración 71. Cálculo de área por coordenadas.....	178
Ilustración 72. Cálculo de área por medio de triángulos	178
Ilustración 73. Valor de chaflanes	181
Ilustración 74. Determinación de chaflanes en sección de corte.	182
Ilustración 75. Determinación de chaflanes en sección de relleno	183
Ilustración 76. Determinación de ceros en una sección mixta	185
Ilustración 77. Determinación de ceros en una sección mixta	186
Ilustración 78. Determinación de ceros en una sección mixta	188
Ilustración 79. Prismoide.....	190
Ilustración 80. Cálculo de volúmenes	191

LISTA DE ANEXOS¹

ANEXO A. ALINEAMIENTOS VERTICAL V2

ANEXO B. EJERCICIO CURVA CIRCULAR SIMPLE

ANEXO C. EJERCICIO CURVA COMPUESTA DE DOS RADIOS

ANEXO D. EJERCICIO ESPIRAL-CIRCULAR-ESPIRAL

ANEXO E. GENERALIDADES SOBRE EL TRAZADO DE CARRETERAS

ANEXO F. MOVIMIENTO DE TIERRAS V2

ANEXO G. PERALTE

ANEXO H. SOBRECANCHO V2

¹ Ver anexos en carpeta adjunta al CD y puede visualizarlos en base de datos biblioteca UIS

GLOSARIO

BERMA: *Fajas comprendidas entre los bordes de la calzada y las cunetas. Sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodadura, controlan la humedad y las posibles erosiones de la calzada.*

BOMBEO: *En tramos rectos, la sección de la calzada normalmente tiene pendientes transversales que le sirven para facilitar el drenaje de las aguas lluvias hacia las cunetas a esta pendiente se le denomina bombeo normal y varía entre 2% y 4%.*

CALZADA: *Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.*

CAPACIDAD: *Número máximo de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos por unidad de tiempo, bajo las condiciones imperantes de vía y de tránsito.*

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

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

CORONA: *Corresponde al conjunto formado por la calzada y las bermas.*

CURVA DE TRANSICIÓN: *Son aquellas que proporcionan una transición o cambio gradual en la curvatura de la vía, desde un tramo recto hasta una curvatura de grado determinado, o viceversa. Son ventajosas porque mejoran la operación de los vehículos y la comodidad de los pasajeros, por cuanto hacen que varíe en forma gradual y suave, creciente o decreciente, la fuerza centrífuga entre la recta y la curva circular, o viceversa.*

CURVA HORIZONTAL: *Trayectoria que une dos tangentes horizontales consecutivas. Puede estar constituida por un empalme básico o por la combinación de dos o más de ellos.*

CURVA VERTICAL: *Curvas utilizadas para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el movimiento vertical de los vehículos; permiten la seguridad, comodidad y la mejor apariencia de la vía. Casi siempre se usan arcos parabólicos porque producen un cambio constante de la pendiente.*

DERECHO DE VÍA: *Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.*

DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL: *Definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera, y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal.*

DISEÑO DE PLANTA: *Proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por trayectorias curvas.*

DISEÑO EN PERFIL: *Proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo.*

DISEÑO GEOMETRICO: *Procedimiento que permite establecer la geometría de los elementos físicos de una vía ajustándolos de una manera óptima a las condiciones de operación de los vehículos.*

INTERSECCIÓN: *Dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran ya sea en un mismo nivel o bien en distintos, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellos circulan.*

LINEA DE CHAFLANES: *Líneas que unen las estacas de chaflán consecutivas, las cuales indican hasta dónde se extiende lateralmente el movimiento de tierras por causa de los cortes o de los terraplenes.*

LINEA DE PENDIENTE: *Es aquella línea que, pasando por los puntos obligados del proyecto, conserva la pendiente uniforme especificada y que, de coincidir con el eje de la vía, los cortes y los terraplenes serían mínimos, razón por la cual también se le conoce con el nombre de línea de ceros.*

LONGITUD DE APLANAMIENTO: *Longitud necesaria para que el carril exterior pierda su bombeo o se aplane con respecto al eje de rotación.*

NIVEL DE SERVICIO: *Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.*

OBRAS DE SUBDRENAJE: *Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo a fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos, y haciendo descender el nivel freático.*

OBRAS DRENAJE: *Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado.*

PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES: *Máxima diferencia algebraica entre las pendientes longitudinales de los bordes de la calzada y el eje de la misma.*

PENDIENTE TRANSVERSAL DEL TERRENO: *Corresponde a las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido transversal del eje de la vía.*

PERALTE: *Es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para establecer el equilibrio entre las fuerzas actuantes y de esta manera proporcionar seguridad a la marcha del vehículo.*

SUBRASANTE: *Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento.*

TALUD: *Paramento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén.*

TANGENTE VERTICAL: *Tramos rectos del eje del alineamiento vertical, los cuales están enlazados entre sí por curvas verticales.*

TRAMO HOMOGÉNEO: *Longitud del trazado de la carretera al que por las características topográficas se le asigna una determinada Velocidad de Diseño (VTR).*

TRANSICIÓN DEL PERALTE: *Tramo de la vía en la que es necesario realizar un cambio de inclinación de la calzada, para pasar de una sección transversal con bombeo normal a otra con peralte.*

TRAZADO: *Conjunto de actividades de campo y oficina que permiten obtener la mejor ruta o franja de terreno para el diseño de una carretera, teniendo en cuenta factores físicos, técnicos, económicos, ambientales y sociales.*

VEHÍCULO DE DISEÑO: *Tipo de vehículo cuyo peso, dimensiones y características de operación se usan para establecer los controles de diseño que acomoden vehículos del tipo designado. Con propósitos de diseño geométrico, el vehículo de diseño debe ser uno, se podría decir que imaginario, cuyas dimensiones y radio mínimo de giro sean mayores que los de la mayoría de vehículos de su clase.*

VEHÍCULO: *Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas o mercancías de un punto a otro.*

VELOCIDAD DE DISEÑO: *Velocidad guía o de referencia de un tramo homogéneo de carretera, que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de seguridad y comodidad.*

VELOCIDAD DE MARCHA O CRUCERO: *Es dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento.*

VISIBILIDAD: *Condición que debe ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo de poder ver hacia delante la distancia suficiente para realizar una circulación segura y eficiente*

RESUMEN

TITULO: GUIA METODOLOGICA COMO APOYO A LA MATERIA DE DISEÑO VIAL*.

**AUTORES: HECID ANDRES SANDOVAL ARAQUE
YENNY FERNANDA PEREZ PALENCIA****

PALABRAS CLAVE: carretera, carril, curva, sección, pendiente, peralte, tangente, trazado.

El diseño geométrico de una carretera supone la parte más importante de su concepción y proyecto, ya que permite establecer su disposición espacial más adecuada sobre el territorio, para que se adapte a sus características y condicionantes; pero a su vez pueda facilitar una accesibilidad y movilidad de las personas y las mercancías que sea segura, cómoda, sostenible y en unos tiempos que estén proporcionados a la magnitud de la demanda de movilidad, es decir, que sea funcional y eficaz a un coste razonable.

Durante el avance de la carrera de ingeniería civil se desarrollan metodologías con respecto a diferentes áreas como estructuras, vías, aguas, suelos, etc.; que tienen un impacto en el desarrollo de la sociedad.

En este contexto la ingeniería civil juega un rol fundamental en el diseño de vías, ya que el país en su infraestructura vial es deficiente y no cumple con los mínimos estándares internacionales en relación a sus especificaciones técnicas y su diseño, por esto se pretende generar un material de soporte en procesos educativos y didácticos para el entendimiento, comprensión y aprendizaje de los temas relacionados con la asignatura y así abordar el problema desde su comienzo en su etapa de diseño.

Resaltando la importancia de la ingeniería civil en la infraestructura vial nacional, el proyecto desarrolló una guía metodológica didáctica para la construcción de vías secundarias realizando un aporte a la materia de diseño vial. Para esto, se realizó una revisión y clasificación bibliográfica del diseño geométrico de las carreteras secundarias nacionales y así, elaborar la más completa guía que permitiera el entendimiento a cualquier estudiante de la asignatura de diseño vial y profesionales que consulten el documento.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director: Sandra Milena Cote Vargas

ABSTRAC

TITLE: METHODOLOGICAL GUIDE AS SUPPORT TO ROAD DESIGN MATTER*.

**AUTHOR: HECID ANDRES SANDOVAL ARAQUE
YENNY FERNANDA PEREZ PALENCIA****

KEYWORDS: road, lane, curve, section, slope, cant, tangent, layout.

The geometric design of a road is the most important part of its conception and project, since it allows to establish its spatial disposition more appropriate on the territory, so that it adapts to its characteristics and conditioning; but in turn can facilitate accessibility and mobility of people and goods that is safe, comfortable, sustainable and at times that are proportionate to the magnitude of the demand for mobility, that is, that is functional and efficient at a cost reasonable.

During the advance of the civil engineering career methodologies are developed with respect to different areas such as structures, roads, water, soil, etc.; that have an impact on the development of society.

In this context, civil engineering plays a fundamental role in the design of roads, since the country in its road infrastructure is deficient and does not meet the minimum international standards in relation to its technical specifications and its design, for this purpose it is intended to generate a support material in educational and didactic processes for the understanding, understanding and learning of the topics related to the subject and thus approach the problem from its beginning in its design stage.

Highlighting the importance of civil engineering in the national road infrastructure, the project developed a didactic methodological guide for the construction of secondary roads making a contribution to the subject of road design. For this, a review and bibliographic classification of the geometric design of the national secondary roads was carried out and, thus, to elaborate the most complete guide that would allow the understanding to any student of the road design subject and professionals who consult the document.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director: Sandra Milena Cote Vargas

INTRODUCCIÓN

Los estudios e inversión por parte del gobierno colombiano en lo referente a la infraestructura vial, es un tema de gran importancia para el desarrollo y economía de la sociedad en general. Colombia presenta un gran atraso significativo en lo referente al desarrollo de las vías terrestres nacionales, cuyo progreso a lo largo de la historia se ha realizado a través de cuatro generaciones diferentes, cada una con sus defectos y características propias, que se han tratado de perfeccionar con el transcurso de los años. La cuarta generación de las obras es tal vez la más importante para el país, pues reúne todos los estudios, y la experiencia adquirida en el pasado y plantea la ejecución de grandes construcciones, que sin lugar a dudas incrementan la competitividad y la economía, incentivando el intercambio comercial y facilitando el tránsito de personas y mercancías en menores tiempos y costos.

La mayoría de las vías nacionales son de dos carriles, carreteras nacionales, las llamadas vías primarias, las que conectan municipios, secundarias, y las vías rurales o terciarias, la mayoría en mal estado, que limitan la velocidad y la tranquilidad, sometiéndose a trancones y demoras. La facilidad de desplazamiento permite ampliar el mercado de productos, principalmente agrícolas, generando empleo, promoviendo la recreación, y permitiendo a acceder a servicios médicos y también a una educación de mejor calidad.

En este contexto la ingeniería civil juega un rol fundamental en el diseño de vías, ya que el país en su infraestructura vial es deficiente y no cumple con los mínimos estándares internacionales en relación a sus especificaciones técnicas y su diseño, por esto se pretende generar un material de soporte en procesos educativos y didácticos para el entendimiento, comprensión y aprendizaje de los temas

relacionados con la asignatura y así abordar el problema desde su comienzo en su etapa de diseño.

Este documento tiene como fin principal, diseñar una guía metodológica como aporte y apoyo a la materia de diseño vial enfocada principalmente en las carreteras secundarias. La guía planea una serie de Fases, con el propósito de alcanzar el mejor entendimiento de cada uno de los temas vistos en clases. El interés primordial y principal es suministrar la información de manera didáctica y práctica.

1. CARRETERAS

1.1 GENERALIDADES

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente adaptada a un terreno denominado derecho de vía, proyectada y construida 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.

La parte más importante para un proyecto de una carretera es el diseño geométrico ya que a través de él se establece su configuración geométrica, con el fin de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

Una vía será funcional siempre y cuando ofrezca una movilidad adecuada con una velocidad suficiente de operación, la vía será cómoda en la medida en que se disminuyan las aceleraciones de los vehículos y sus variaciones, lo cual se logrará ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación a lo largo de los tramos rectos, la vía será estética si se logra adaptar a su entorno en lo posible a la topografía produciendo en el conductor agradables visuales durante su recorrido, la vía será económica, cuando cumpliendo con los demás aspectos, ofrece el menor costo tanto en su construcción como en su mantenimiento.

Los requisitos para tener en cuenta en el diseño se clasifican en dos factores externos o previamente existentes, e internos o propios de la vía y su diseño.

Los factores externos están relacionados, entre otros aspectos, con la topografía, geología y geotecnia del terreno natural, el volumen y características del tránsito

actual y futuro, los valores ambientales, la climatología e hidrología de la zona, los desarrollos urbanísticos existentes y previstos, los parámetros socioeconómicos del área y la estructura de las propiedades.

Los factores internos del diseño contemplan las velocidades a tener en cuenta para el mismo y los efectos operacionales de la geometría, especialmente los vinculados con la seguridad exigida y los relacionados con la estética y armonía de la solución.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

2.1 SEGÚN SU FUNCIÓN

Determinada según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación en sus diferentes niveles:

2.1.1 Carreteras primarias o de primer orden Troncales y transversales que conectan las principales zonas de producción y consumo, también las que conectan fronteras con los puertos de comercio internacional

Debido a la importancia que tiene una vía primaria y teniendo en cuenta las grandes inversiones requeridas para cumplir sus especificaciones geométricas (una o dos calzadas), el diseño se debe realizar en tres fases (pre factibilidad, factibilidad y diseños definitivos) y así evaluar rigurosamente su viabilidad económica y técnica.

2.1.2 Carreteras secundarias o de segundo orden Son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre sí o aquellas que provienen de una cabecera municipal y se conectan con una carretera Primaria. Pueden ser pavimentadas o en afirmado, aunque la mayor parte se encuentra en afirmado. También se le consideran generalmente como rutas o carreteras departamentales. Existen algunas carreteras secundarias que son entregadas en concesión a privados para su construcción y mejoramiento.

2.1.3 Carreteras terciarias o de tercer orden Son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas, o que unen veredas entre sí. En su mayoría están en afirmado.

2.2 SEGÚN EL TIPO DE TERRENO

Es determinada por la topografía del tramo en estudio. De allí que, a lo largo de una carretera pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno. Éstos se clasifican con base en las pendientes longitudinales y transversales del terreno, estas son inclinaciones naturales en el entorno medidas en el sentido longitudinal y transversal del eje de la vía, continuamente esta la inclinación máxima del terreno en cualquier dirección alrededor del entorno de la vía que se convierte en la línea de máxima pendiente.

En Colombia, los terrenos se clasifican de acuerdo con los parámetros que se muestran en la siguiente tabla:

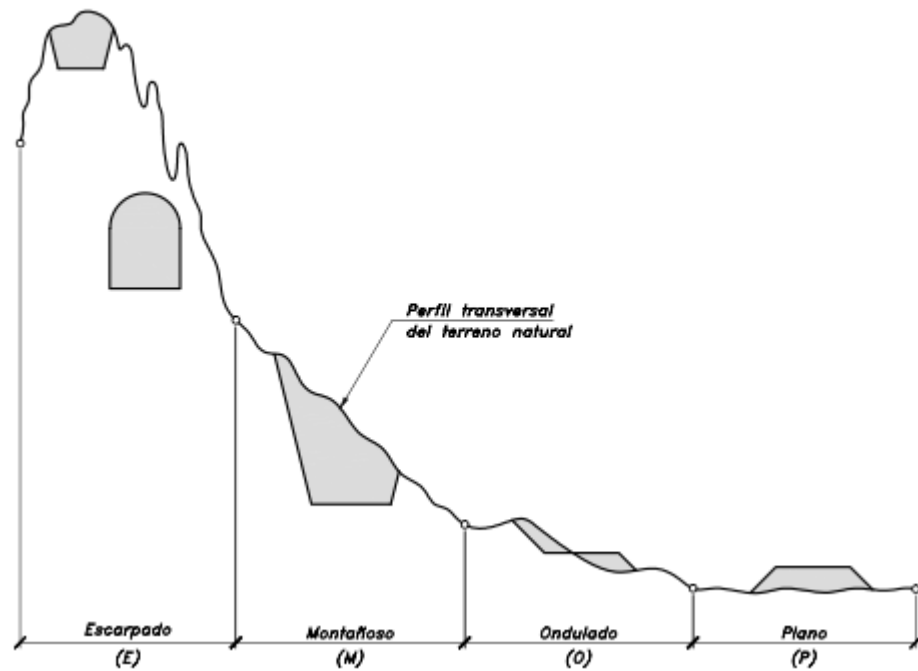
- Plano (P).
- Ondulado (O).
- Montañoso (M).
- Escarpado (E).

Tabla 1. Tipos de Terreno

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE MÁXIMA MEDIA DE LAS LÍNEAS DE MÁXIMA PENDIENTE DEL TERRENO (%)	INCLINACIÓN TRANSVERSAL AL EJE DE LA VÍA, DEL TERRENO (°)
Plano (P)	0-5	0-6
Ondulado (O)	5-25	6-13
Montañoso (M)	25-75	13-40
Escarpado (E)	>75	>40

Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

Ilustración 1. Tipos de terreno en carreteras



Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

2.3 SEGÚN SU COMPETENCIA

Las carreteras se clasifican según se encuentren a cargo de una determinada administración:

2.3.1 Carreteras nacionales Son aquellas que están, bajo la administración del Instituto Nacional de Vías INVIAS, forman la red primaria de carreteras.

2.3.2 Carreteras departamentales Son aquellas de propiedad de los Departamentos. Forman la red secundaria de carreteras.

2.3.3 Carreteras veredales Son aquellas vías a cargo del Instituto Nacional de Vías y de los municipios. Forman la red terciaria de carreteras.

2.3.4 Carreteras distritales y municipales Son aquellas vías urbanas y rurales a cargo del Distrito o Municipio.

2.4 SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

2.4.1 Autopistas Son vías de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles y con control total de accesos. Las entradas y salidas de las autopistas se realizan únicamente a través de intercambiadores.

2.4.2 Carreteras de dos carriles Constan de una sola calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y acceso directo desde sus márgenes.

3. ETAPAS DE UN PROYECTO DE CARRETERAS

Cuando se identifica la necesidad de comunicar dos puntos o zonas es el momento de iniciar un proyecto, que finalizara con lograr satisfacer los objetivos propuestos. Dependiendo del tipo de proyecto a ejecutar el curso de este puede variar y tener alcances diferentes. Como el tipo de proyecto de más alcances y actividades es el de construcción, sobre este analizaremos las diferentes etapas que se pueden presentar en la ejecución de este.

3.1 ETAPA DE PRE INVERSIÓN

3.1.1 Pre factibilidad Aquí se identifican una o varias alternativas de ruta o de trazados, el pre diseño aproximado de la carretera a lo largo de cada corredor, recurriendo a estudios técnicos como fotografías aéreas, mapas, levantamientos topográficos etc, y con la comparación de costos obtenidos en proyectos con condiciones similares, se realiza una evaluación económica preliminar.

El objetivo de un estudio de pre factibilidad es establecer con la información obtenida si el proyecto ofrece la posibilidad de ser viable desde el punto de vista técnico y económico.

3.1.2 Factibilidad En el estudio de factibilidad se reducen las dudas e incertidumbres que se tengan con respecto al proyecto. Los estudios técnicos realizados aquí tendrán un mayor alcance ya que se llevan a cabo trabajos de campo como levantamientos de precisión topográfica que complementan la información obtenida y así poder obtener posteriormente las poligonales mediante

cálculos de coordenadas, que permitirán dibujar el trazado en planta como de perfil de la rasante a desarrollar.

Con los datos obtenidos se realiza el estudio de tránsito de manera que se obtenga las primeras aproximaciones en el cálculo de volúmenes, en el movimiento de tierras, en la construcción de estructuras de drenaje o puentes estimándose sus cantidades de obra, en general se perfeccionan los estudios financieros, económicos y ambientales que permitan la viabilidad del proyecto y su costo aproximado.

3.2 ETAPA DE INVERSIÓN

Llamada también etapa de ejecución, se debe de iniciar con la elaboración de los estudios técnicos definitivos, esta etapa comprende principalmente las siguientes actividades:

- Realización definitiva de los estudios técnicos, con elaboración de planos detallados para la construcción de las obras, la escala mínima para presentación de planos Planta – Perfil es de 1:2000.
- Construcción de las obras.
- Interventoría de la construcción de las obras.
- Presentación y entrega del proyecto construido a la entidad que se encargará de su operación y mantenimiento.

3.3 ETAPA OPERACIONAL

Esta etapa se inicia en el momento en que se da circulación a los vehículos. El mantenimiento rutinario y preventivo y la conservación de la carretera, corresponde

al dueño del proyecto (nación, departamento o municipio) o al concesionario elegido.

3.4 EVALUACIÓN FINAL

Es el seguimiento y la evaluación de los resultados finales del proyecto, la finalidad está en identificar las eficiencias y corregir los problemas que se ven a futuro, además se pretende determinar las causas de éxito y fracaso como experiencias para proyectos futuros

4. ASPECTOS FUNDAMENTALES

4.1 LA VELOCIDAD

Es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño. En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño, se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad vial de los usuarios. Por ello, la velocidad de diseño a lo largo del trazado, debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

4.1.1 La velocidad de diseño del tramo homogéneo La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una Velocidad de diseño (VTR) en el rango que se indica en la Tabla. En ella se resume el equilibrio entre el mejor nivel de servicio que se puede ofrecer a los usuarios de las carreteras colombianas y las posibilidades económicas del país.

Tabla 2. Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.

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

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño (VTR) se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

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

En el medio colombiano la velocidad tope a la que viajan los conductores en un momento dado es función, principalmente de las restricciones u oportunidades que ofrezca el trazado de la carretera, el estado de la superficie de la calzada, las condiciones climáticas, la intensidad del tráfico y las características del vehículo y en menor medida por las señales de límite de velocidad colocadas en la vía ó por una eventual intervención de los agentes de tránsito.

4.1.2 Velocidad de marcha Denominada también velocidad de crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, la vía y los dispositivos de control. Es una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores y varía durante el día, principalmente, por la modificación de los volúmenes de tránsito.

4.1.3 Velocidad de operación Es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función a la velocidad de diseño, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera.

5. GENERALIDADES SOBRE EL TRAZADO DE CARRETERAS

En el trazado de una carretera se presentan diferentes etapas, siendo algunas de estas necesarias, mientras que otras dependen de factores tales como la topografía, la geología, la hidrología, los usos del suelo, alcances e importancia del proyecto, disponibilidad de recursos, información disponible e inclusive la ligereza de los diseños. Como uno de los factores que más influye en la metodología a seguir en el trazado de una carretera es la topografía y más aún si esta es montañosa, se estará indicando en este capítulo el procedimiento más apropiado para la localización de una carretera de montaña (secundaria).

Dada la necesidad de construir una carretera que permita enlazar dos puntos o zonas terrestres se debe determinar inicialmente sus características o especificaciones y los puntos intermedios que por razones especiales se convierten en obligados, llamados puntos de control primario. A partir de este momento se presentan entonces las diferentes fases que conforman un proyecto de una carretera y que se describen a continuación:

RUTA: *Se entiende por ruta aquella franja de terreno, de ancho variable, comprendida entre dos puntos y que pasa a lo largo de puntos obligados intermedios, dentro de la cual es posible realizar la localización del trazado de una carretera.*

5.1 SELECCIÓN DE RUTAS

Primeramente, se debe realizar una serie de trabajos preliminares para poder llevar a cabo el estudio, los cuales comprenden la recopilación de datos, estudio de

planos, fotografías aéreas, mapas y planos topográficos existentes de la zona o región, estudios de tránsito de vías etc. Las principales fuentes para la obtención de esta información son entre otras el Ministerio de Transporte, el Instituto Nacional de Vías, el DANE, el IGAC, el CIAF, las Oficinas de Planeación departamental o municipal, las Oficinas de valorización, las Secretarías de Obras Públicas, etc.

IGAC: *Instituto Geográfico Agustín Codazzi.*

CIAF: *Centro de Investigación y Desarrollo en Información.*

Luego de analizar y estudiar toda la información obtenida se lleva a cabo el planteamiento de las diferentes rutas posibles que integren la mayoría de las condiciones básicas o más favorables para el desarrollo del trazado como de la construcción.

5.2 EVALUACIÓN DE RUTAS

Como se mencionó anteriormente, la mejor ruta entre varias alternativas, que permita enlazar dos puntos extremos o terminales, será aquella que permita un mayor índice de utilidad económica, social y estética donde los costos de construcción, operación y conservación de la futura carretera a proyectar sea adecuada para compararla con los beneficios probables esperados.

La selección de la mejor ruta está considerablemente influenciada por la topografía (Montañas valles, colinas, pendientes escarpadas, ríos y lagos) estos factores limitan la localización y son determinantes durante el estudio de las rutas.

El método de Bruce compara, para cada ruta o trazado, sus longitudes, sus desniveles y sus pendientes, tomando en cuenta únicamente el aumento de longitud

correspondiente al esfuerzo de tracción en las pendientes. Este método entre otros de evaluación de rutas y trazados ayudara a elegir la mejor seleccionar.

El método de Bruce se expresa de la siguiente manera:

$$X_o = X + k \left(\sum y \right)$$

X_o = Longitud resistente (m).

X = Longitud total del trazado (m).

$\sum y$ = Desnivel o suma de desniveles (m).

k = Inverso del coeficiente de tracción.

En la siguiente tabla aparecen los valores de k para los diferentes tipos de rodamiento.

Tabla 3. Valores del inverso del coeficiente de tracción.

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR MEDIO DE k
Carretera en tierra	21
Macadam	32
Pavimento asfáltico	35
Pavimento rígido	44

Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

5.3 INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN EL TRAZADO

El radio mínimo, el vehículo de diseño, la pendiente máxima, sección transversal, etc. son desde el principio las características geométricas de la vía que se deben establecer desde su comienzo. El método de estudio varía de acuerdo al tipo de terreno debido a las características de la topografía, la naturaleza de los suelos y el

drenaje esto genera un problema al momento de determinar la mejor ruta que satisfaga las especificaciones técnicas que se hayan establecido.

PENDIENTE LONGITUDINAL DEL TERRENO: *Es la inclinación natural del terreno, medida en el sentido del eje de la vía.*

5.3.1 Tipos de Terreno Debido a la gran dificultad de la topografía en Colombia, según sus variaciones los ingenieros caracterizan o clasifican la topografía de acuerdo con el tipo de terreno en plano, ondulado, montañoso y escarpado. En la siguiente tabla se indican sus características.

Tabla 4. Tipos de Terreno

TERRENO	INCLINACION MAXIMA MEDIA DE LAS LINEAS DE MAXIMA PENDIENTE (%)	MOVIMIENTO DE TIERRAS
Plano (P)	0 a 5	Mínimo movimiento de tierras por lo que no presenta dificultad ni en el trazado ni en la explanación de una carretera.
Ondulado (O)	5 a 25	Moderado movimiento de tierras, que permite alineamientos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y explanación de una carretera.
Montañoso (M)	25 a 75	Las pendientes longitudinales y transversales son fuertes aunque no las máximas que se pueden presentar en una dirección considerada; hay dificultades en el trazado y explanación de una carretera.
Escarpado (E)	>75	Máximo movimiento de tierras, con muchas dificultades para el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas en el recorrido de una vía.

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

Cada tipo de terreno requiere, modelos diferentes de diseño. A continuación, se hace un análisis sobre los aspectos más importantes en el trazado de una vía de acuerdo al tipo de terreno:

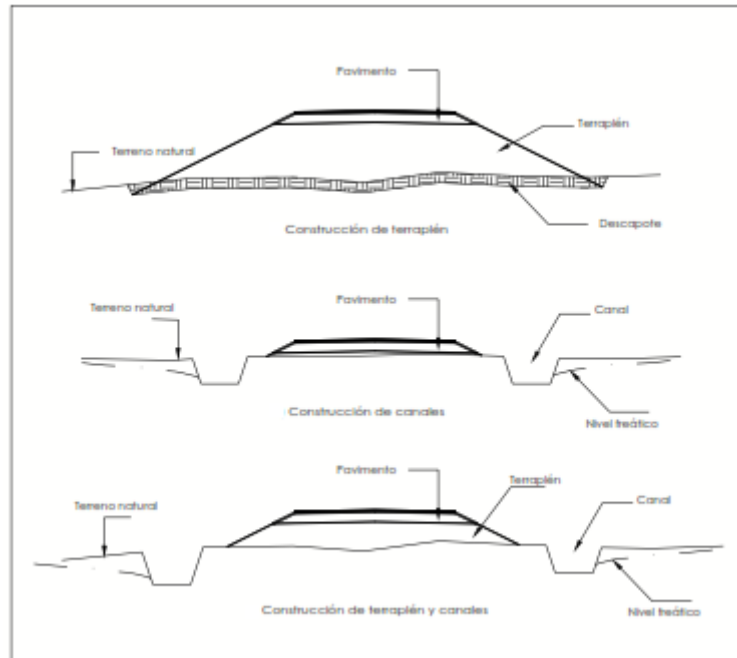
5.3.1.1 Terreno Plano En este tipo de terreno los vehículos pesados transitan con una velocidad aproximadamente igual a la de los vehículos más livianos. Las distancias de visibilidad son generalmente largas o puede sin dificultad obtenerse sin mayores costos.

La línea de ceros y del trazado de la línea ante preliminar, no requieren ser realizados en este tipo de terreno ya que es fácil determinar cuál será la mejor alternativa, siendo viable escoger de forma directa el trazado de la línea preliminar en el terreno.

La presencia de zonas muy bajas ocasiona en temporada de lluvias que estas se transformen en lagunas o pantanos lo que condiciona el diseño horizontal. Cuando se hace difícil evitar el paso por estas zonas se condiciona especialmente el alineamiento vertical ya que se requiere alejar lo más posible en altura la estructura de pavimento del nivel freático o del nivel de agua máximo, para llegar a una solución se puede emplear alguno de los siguientes métodos:

- Construyendo un terraplén sobre el terreno. Estos normalmente van acompañados por la construcción de alcantarillados que permiten el flujo del agua de un lado a otro de la vía.
- Construyendo canales longitudinales a lado y lado de la vía, estos canales conducirán las aguas hasta un lugar donde podrán ser evacuados de manera segura.

Ilustración 2. Construcción de carretera en Terreno plano

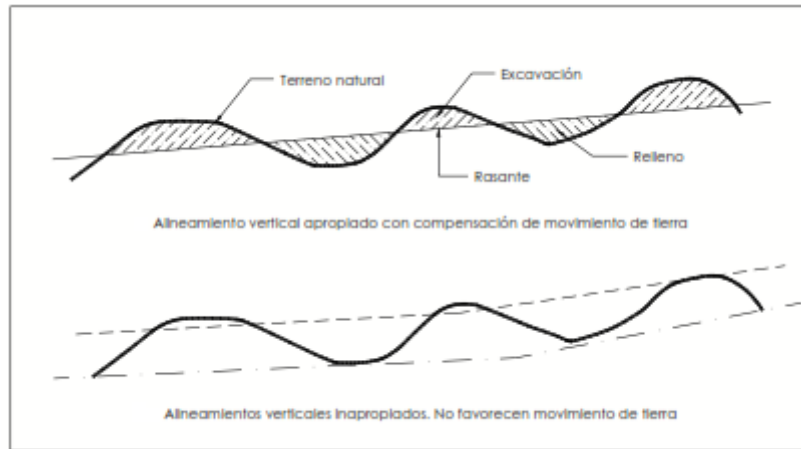


Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

5.3.1.2 Terreno Ondulado En este tipo de terreno los vehículos pesados transitan con una velocidad significativamente menor a la de los vehículos más livianos debido a alineamiento horizontal y vertical. Las distancias de visibilidad son apropiadas ya que se pueden obtener sin mucha dificultad un alineamiento horizontal con tangentes relativamente largas y radios de curvatura amplios.

El terreno presenta oscilaciones suaves y amplias, las pendientes transversales son del orden del 5 al 25% lo que restringe los alineamientos horizontal y vertical, el terreno ondulado busca una igualdad entre los volúmenes de corte y terraplén para su diseño.

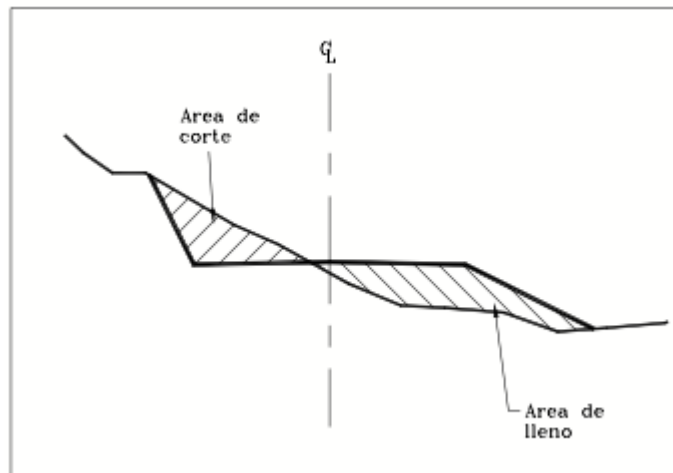
Ilustración 3. Diseño alineamiento vertical en Terreno Ondulado



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

En el sentido transversal pueden generarse secciones mixtas debido al movimiento de tierras es decir con la excavación y el terraplén.

Ilustración 4. Sección mixta



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

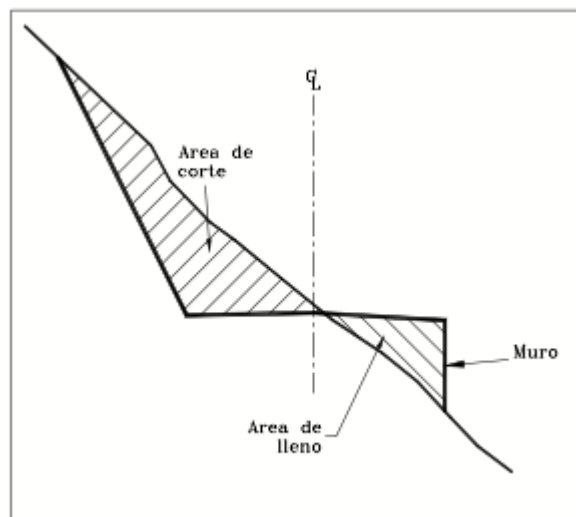
5.3.1.3 Terreno Montañoso El terreno montañoso presenta cambios abruptos de altura tanto longitudinal como transversal con respecto a la carretera y se requiere de los banqueos y los cortes de ladera para obtener unos aceptables alineamientos

tanto verticales como horizontales, la pendiente transversal varía entre el 25 y el 75%. En este tipo de terreno los vehículos pesados transitan con una velocidad sostenida en rampa durante distancias relativamente largas o en intervalos muy frecuentes.

La visibilidad en este tipo de terreno presenta restricciones en el alineamiento horizontal ya que es difícil conseguir tangentes largas y radios de curvatura amplios.

5.3.1.4 Terreno Escarpado En este tipo de terreno para los vehículos pesados debido a las altas pendientes longitudinales y radios de curvatura muy pequeños no es muy apropiado que transiten. Este terreno supera las pendientes máximas longitudinales permitidas lo que hace difícil la construcción de terraplenes debido a la pendiente y a su inestabilidad por lo cual se recurre a la construcción de muros de contención.

Ilustración 5. Sección transversal con muro



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

6. TRAZADO DE LINEA DE CEROS

La línea de ceros o línea de pendiente, es aquella que une los puntos obligados del proyecto conservando una pendiente especificada, constante y uniforme. Esta línea va a ras del terreno y, de coincidir con el eje de la vía, presentaría mínimo movimiento de tierras. La Tabla 5 indica las pendientes máximas para diferentes velocidades de diseño dependiendo del tipo de vía y clase de terreno

Una vez establecidas las diferentes rutas en los planos y su respectivo reconocimiento en el terreno, se procede a definir las líneas de pendiente con el fin de realizar una comparación racional de las diferentes alternativas propuestas aportando criterios técnicos que permitan seleccionar la mejor ruta.

Tabla 5. Pendientes máximas para diferentes velocidades de diseño

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera principal de dos calzadas	Plano							4	3	3	3
	Ondulado						5	5	4	4	4
	Montañoso						6	6	5	5	5
	Escarpado						7	6	6	6	
Carretera principal de una calzada	Plano					5	4	4	3		
	Ondulado				6	6	5	5	4		
	Montañoso				8	7	7	6			
	Escarpado				8	8	7				
Carretera secundaria	Plano			7	7	7	6				
	Ondulado		11	10	10	9	8				
	Montañoso		15	14	13	12					
	Escarpado	15	14	13	12						
Carretera Terciaria	Plano		7	7	7						
	Ondulado	11	11	10	10						
	Montañoso	14	13	13							
	Escarpado	16	15	14							

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

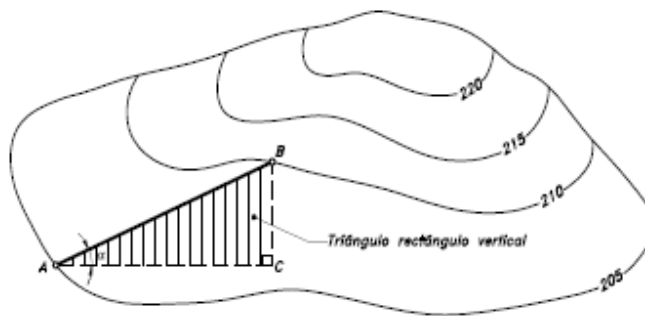
Los proyectos de vías se presentan generalmente dos casos o tipos de trazado: trazado con proyecto y localización directa. Para ambos métodos es necesario realizar los estudios de selección de ruta apoyados en la línea de pendiente. Se tiene entonces que dicha línea se puede llevar a cabo tanto en planos como en el terreno mismo. A continuación, se detalla el procedimiento empleado para determinar la línea de ceros.

En la isometría del terreno natural con curvas de nivel cada 5 metros, ilustrada en la Figura 6, considérese los puntos *A* y *B* sobre las curvas de nivel sucesivas 205 y 210. La pendiente de la línea recta *AB*, que los une, es:

$$\text{Pendiente de } AB = \tan \alpha = \frac{BC}{AC}$$

Luego, si se quiere mantener una línea de pendiente uniforme igual a $\tan \alpha$, la distancia horizontal necesaria para pasar de una curva de nivel a otra será:

Ilustración 6. Línea de pendiente.



Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

$$AC = \frac{BC}{\text{Tan} \alpha}$$

Donde:

AC = Distancia horizontal entre curvas de nivel sucesivas, o abertura del compás.

BC = Diferencia de nivel entre curvas o equidistancia.

$\tan \alpha$ = Pendiente de la línea recta AB . Corresponde a la pendiente de la línea de ceros.

Por lo tanto, también puede decirse que:

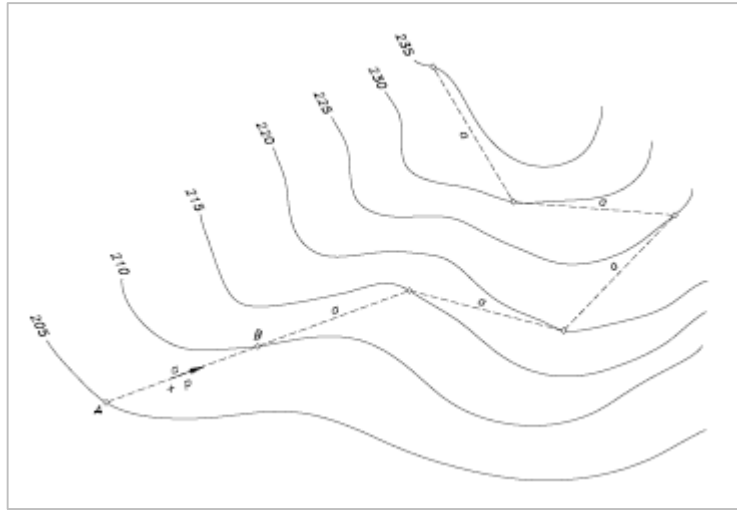
$$a = \frac{\text{Equidistancia}}{p}$$

Donde, a es la abertura del compás y p es la pendiente uniforme de la línea de ceros.

De esta manera, la distancia AC o a , en metros, reducida a la escala del plano, se podrá trazar con un compás de puntas secas a partir del punto inicial, materializándose así una serie de puntos sobre curvas sucesivas, cuya unión constituye la línea de ceros, tal como se muestra en la Ilustración 7.

En términos generales, en el trazado de una línea de ceros, se pueden presentar dos casos: El primero, consiste en llevar desde un punto inicial una línea de ceros de pendiente uniforme sin especificar el punto final o de llegada. El segundo, consiste en trazar una línea de ceros a través de dos puntos obligados. En este último caso será necesario estimar la pendiente máxima que une los dos puntos, la cual deberá ser comparada con la pendiente máxima permitida por las normas vistas en la tabla 5.

Ilustración 7. Línea de ceros.



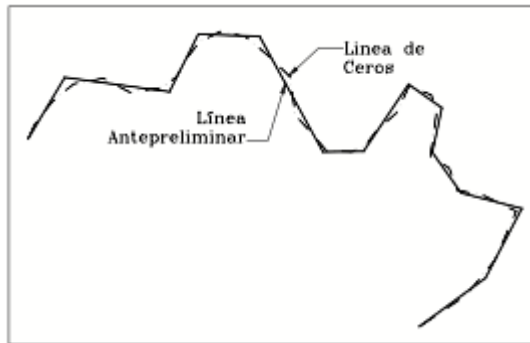
Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

6.1 TRAZADO DE LÍNEA ANTEPRELIMINAR

La línea ante preliminar consiste en realizar una poligonal compuesta de líneas rectas y unidas por sus extremos de modo que se acomode lo mejor posible a la línea de ceros. La línea ante preliminar no se requiere determinar en el terreno plano, para terrenos ondulados e incluso en terrenos montañosos la línea ante preliminar podría elegirse como el eje definitivo del proyecto.

En la siguiente ilustración se muestra la línea de ceros con su correspondiente línea ante preliminar.

Ilustración 8. Línea ante preliminar.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Luego de establecer la línea ante preliminar se procede a obtener la siguiente información:

Longitud: Se debe tomar la longitud de la poligonal de la línea ante preliminar definida. No precisamente la línea ante preliminar de menor longitud es la mejor esta, puede significar una pendiente muy alta o excesivo movimiento de tierra.

Drenaje: Es necesario calcular el número de obras de drenaje requeridas y clasificarlas, de forma preliminar, de acuerdo a su tipo y características.

Movimiento de tierra: Este aspecto se evalúa a partir del perfil longitudinal y las secciones transversales. Tanto en el perfil como en las secciones, obtenidas de la topografía, se puede observar, además de las pendientes, la magnitud de llenos y cortes. Generalmente se toman secciones transversales a lo largo de la línea ante preliminar.

Ubicación de desechos: Debido a los controles ambientales la disponibilidad de sitios cercanos al proyecto para depositar el material de corte puede ser muy poca, lo que puede encarecer un proyecto.

Condiciones climáticas: Elementos como la precipitación y la temperatura son importantes en el momento de evaluar alternativas. Una alta precipitación indica la necesidad de un mayor número de obras de drenaje y lo que es más importante un buen mantenimiento. Por su parte temperaturas muy altas o muy bajas afectan de gran manera la estructura de la vía.

6.2 LÍNEA PRELIMINAR

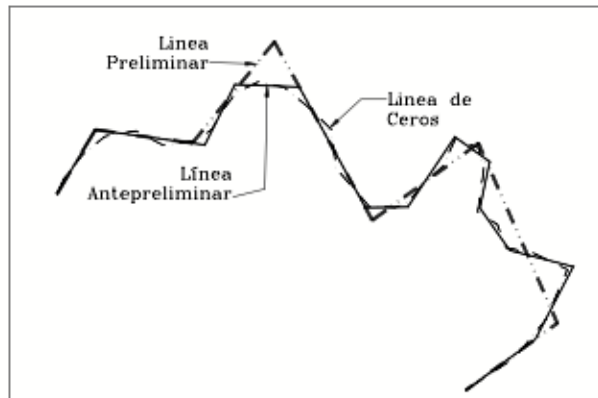
La línea preliminar es la poligonal del proyecto definitivo ya que recoge las mejores condiciones al momento de realizar el diseño geométrico o de materializar el eje de la vía, la línea preliminar se obtiene a partir de la línea ante preliminar siguiendo algunos criterios que se mencionan a continuación:

- Se debe seguir la misma dirección de la línea ante preliminar, pero obteniendo lados tan largos como sea posible.
- Evitar dos curvas continuas del mismo sentido, esta consideración se hace desde el punto de vista estético, geométrico y de seguridad.
- Se debe tener en cuenta que a mayor ángulo de deflexión se requiere una mayor tangente y por lo tanto una mayor distancia entre vértices de la preliminar.
- Cruzar los ríos y diferentes corrientes de agua, así como vías existentes, vías férreas de forma perpendicular a estas y si es posible en los sitios más estrechos, de modo que se obtengan longitudes cortas para las estructuras y no se comprometa la visibilidad y su diseño.

En general el objetivo principal es obtener un trazado equilibrado entre alineamiento horizontal, pendientes y movimiento de tierra.

En la siguiente ilustración se ha alcanzado una línea preliminar a partir de la línea ante preliminar de la ilustración 8.

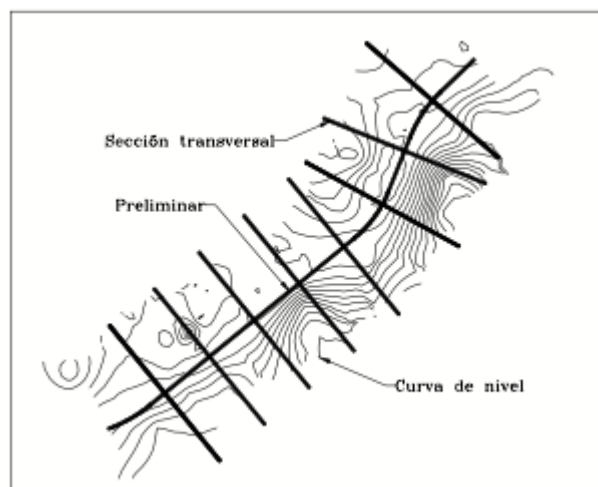
Ilustración 9. Línea Preliminar.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

El espaciamiento de las secciones transversales varía de acuerdo al tipo de terreno, pero lo que más se recomienda es que estén entre 20 a 50 metros. A continuación, se observa el trazado de una línea preliminar a la cual se le han levantado sus respectivas secciones transversales.

Ilustración 10. Levantamiento secciones transversales a la línea preliminar.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

En todos los casos la línea preliminar se ubica por coordenadas, empleando ya sea una estación total o un GPS de igual manera la nivelación del eje y el levantamiento de secciones transversales se debe hacer con un nivel de precisión o en su defecto con una estación total.

Luego de tener la poligonal definitiva del proyecto se inicia propiamente el diseño geométrico. Esta nueva etapa del proyecto que en parte se puede realizar directamente en campo, se trata a partir del próximo capítulo.

7. DISEÑO GEOMETRICO

7.1 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Para iniciar el diseño de una vía se debe definir según la clase de terreno, las características del tránsito, el tipo de vía, y la disponibilidad de recursos económicos una adecuada velocidad de diseño con el fin de encontrar elementos como el radio de curvatura mínimo, el peralte y la pendiente máxima, distancias de visibilidad y las secciones transversales, entre otros.

El alineamiento horizontal está constituido por una serie de líneas rectas denominadas tangentes, definidas por la línea preliminar, enlazados por curvas circulares o curvas de grado de curvatura variable de modo que permitan una transición suave y segura

7.2 DEFINICIONES

El alineamiento horizontal es una proyección sobre un plano horizontal en el cual la vía está representada por su eje y por sus respectivos bordes izquierdo y derecho.

Abscisa: Se llama abscisa de un punto a la distancia, medida a lo largo del eje, desde el punto inicial del proyecto hasta dicho punto. Así un punto que esté ubicado a 2.342,22 metros del punto inicial de la vía tendrá entonces como abscisa K2+342.22. Las abscisas se dan normalmente con aproximación al centímetro.

Estación: Son puntos que se requieren colocar llamados estaciones, las cuales pueden ser de dos tipos, redondas y no redondas. Las primeras se colocan en

terrenos montañosos y escarpados cada 10 metros en tangente, mientras que para terrenos planos y ondulados van cada 20 metros.

Las estaciones no redondas, que se requieren en puntos especiales y que ocasionalmente pueden coincidir con las redondas, se mencionan a continuación:

- PC: Estación donde comienza una curva circular.
- PT: Estación donde termina una curva circular
- POT: Estación localizada sobre una tangente
- POC: Estación localizada sobre una curva
- Puntos de cambio brusco de pendiente del terreno
- Bordos de ríos o quebradas
- Bordos de vías existentes
- TE, EC, CE, EE, ET: Puntos de cambio de curvatura en vías espiralizadas.
- PI: Punto donde se interceptan dos tramos rectos antes de ser empalmados por curvas.

7.3 CURVA CIRCULAR SIMPLE

7.3.1 Elementos En una curva circular la curvatura es constante. Para definir una curva circular se parte de:

PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O = Centro de la curva circular.

Δ = Ángulo de deflexión de las tangentes

R = Radio de la curva circular simple.

T = Tangente: Distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

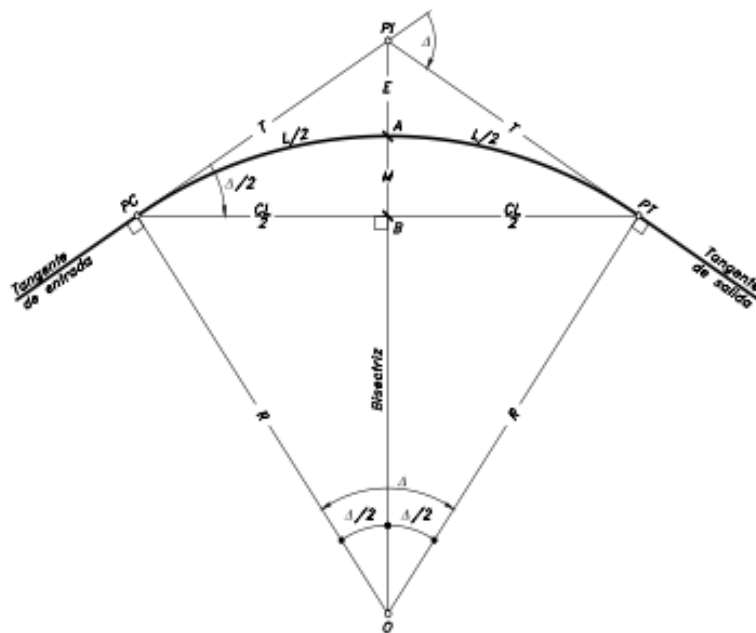
CL = Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.

E = Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M = Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

C = Cuerda.

Ilustración 11. Elementos geométricos de una curva circular



Fuente: CÁRDENAS James Diseño geométrico de carreteras

De acuerdo a la anterior ilustración se tiene que:

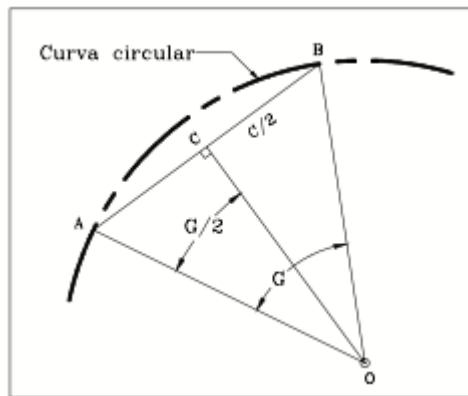
✓ Tangente = $T = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$

✓ Externa = $E = T \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$

✓ Cuerda larga = $CL = 2R \cdot \text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$

Se llama grado de curvatura (G), al ángulo central que une los extremos de un arco de curva con una cuerda cuya longitud es la distancia constante definida entre estaciones redondas para los tramos en curva. La cuerda es el segmento A-B. A mayor radio menor G. DE la siguiente ilustración se obtiene que en el triángulo A.O.B:

Ilustración 12. Grado de curvatura



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

$$\text{Sen} \frac{G}{2} = \frac{C}{2R}$$

- Grado de curvatura = $G = 2 \cdot \text{Sen}^{-1}\left(\frac{C}{2R}\right)$

La longitud de la curva circular será la longitud de la poligonal inscrita.

- Longitud de curva = $LC = (\Delta C) / G$

De acuerdo a la nueva recomendación del INVIAS. la longitud de la curva circular está definida por la expresión:

$$LC = R \cdot \Delta$$

Donde:

LC: Longitud de la curva circular, (m)

Δ : Angulo de deflexión de la curva circular, (radianes)

R: Radio de la curva, (m)

La localización desde el PC o desde el PT se lleva a cabo con cuerdas, que es la distancia constante entre las diferentes estaciones redondas dentro de la curva. El valor de la cuerda depende normalmente del valor del radio y se ha determinado que su valor apropiado, para que la diferencia o error acumulado al final de la curva no sea mayor de 5 centímetros, es el que se da en la siguiente tabla:

Ilustración 13. Valor de la cuerda

RADIO (m)	CUERDA (m)
30 - 60	5
60 - 140	10
> 140	20

7.3.1 Abscisado de la curva La abscisa del PC se calcula restando de la abscisa del PI el valor de la tangente, mientras que la abscisa del PT se obtiene sumando la abscisa del PC y la longitud de la curva:

- Abscisa PC = Abscisa PI – T
- Abscisa PT = Abscisa PC + LC

7.3.2 Ejercicios resueltos

Ejemplo 1: Obtener los demás elementos de la curva y su respectivo abscisado.

Datos:

$$\Delta = 13^{\circ}31'02''$$

$$R = 150.00$$

$$C = 10.00$$

$$\text{Abscisa PI} = K0+136.24$$

Solución:

$$T = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 150 \cdot \tan\left(\frac{13^{\circ}31'02''}{2}\right) = 17.78 \text{ m}$$

$$G = 2 \cdot \text{Sen}^{-1}\left(\frac{C}{2R}\right) = 2 \cdot \text{Sen}^{-1}\left(\frac{10}{2 \times 150}\right) = 3^{\circ}49'14''$$

$$LC = \frac{\Delta C}{G} = \left(\frac{10 \times 13^{\circ}31'02''}{3^{\circ}49'14''}\right) = 35.38 \text{ m}$$

$$E = T \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right) = 17.78 \cdot \tan\left(\frac{13^{\circ}31'02''}{4}\right) = 1.05$$

- Abscisa PC = Abscisa PI – Tangente
 $PC = 136.24 - 17.78 = K0 + 118.46$
- Abscisa PT = Abscisa PC + Longitud
 $PT = 118.46 + 35.38 = K0 + 153.84$

Ejemplo 2: Calcular los elementos de la curva

Datos:

Abscisa del PI = K4 + 438.280

$\Delta = 70^\circ$

$G_c = 8^\circ$

C = 10 m

Solución:

$$G = 2 \cdot \text{Sen}^{-1}(C/2R)$$

$$R = \left(\frac{C}{2 \cdot \text{Sen}(G/2)} \right) = \left(\frac{10}{2 \cdot \text{Sen}(8^\circ/2)} \right) = 71.662 \text{ m}$$

$$T = R \cdot \text{Tan}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 71.622 \cdot \text{Tan}\left(\frac{70^\circ}{2}\right) = 50.145 \text{ m}$$

$$LC = \Delta C/G = (10 \times 70^\circ / 8^\circ) = 87.5 \text{ m}$$

- Abscisa PC = Abscisa PI – Tangente

$$PC = K4 + 438,280 - 50,15 = K4 + 388.13$$

- Abscisa PT = Abscisa PC + Longitud

$$PT = K4 + 388,13 + 87,5 = K4 + 475,631$$

7.4 CURVAS COMPUESTAS

Las curvas compuestas son las que están formadas por dos o más radios, es decir por dos o más curvas circulares simples.

No son muy comunes, pero son necesarias ya que se adaptan a las condiciones topográficas especialmente en terrenos montañosos o cuando se presenta un control en los diseños, como por ejemplo el acceso a un puente.

7.4.1 Curvas circulares compuestas de dos radios En la ilustración 14, aparecen los diferentes elementos geométricos de una curva circular compuesta de dos radios, definidos como:

PI = Punto de intersección de las tangentes.

PC = Principio de la curva compuesta.

PT = Fin de la curva compuesta o principio de tangente.

PCC = Punto común de curvas o punto de curvatura compuesta. Punto donde termina la primera curva circular simple y empieza la segunda.

R1 = Radio de la curva de menor curvatura o mayor radio.

R2 = Radio de la curva de mayor curvatura o menor radio.

Δ_1 = Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.

Δ_2 = Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.

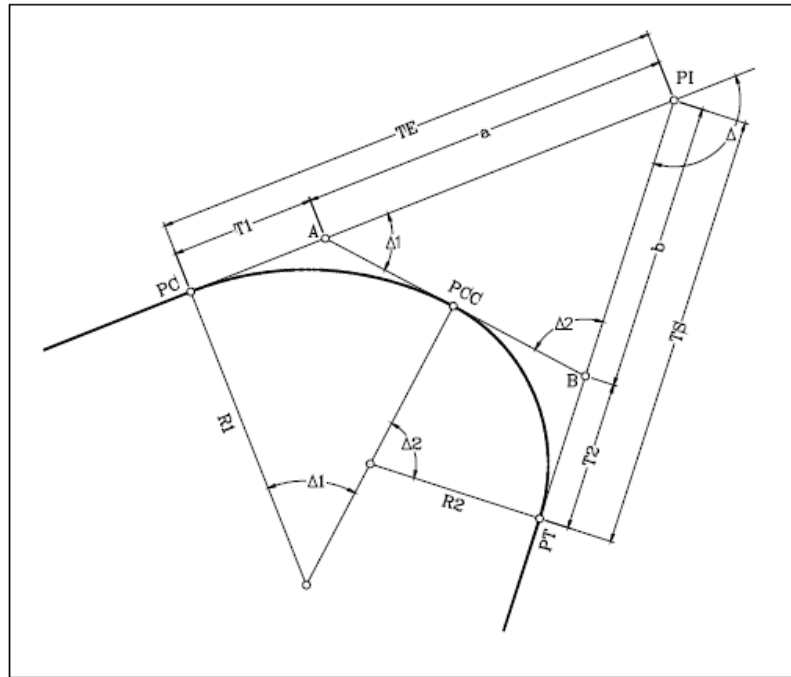
T1 = Tangente de la curva de mayor radio.

T2 = Tangente de la curva de menor radio.

TE = Tangente larga de la curva circular compuesta.

TS = Tangente corta de la curva circular compuesta.

Ilustración 14. Curva compuesta de 2 radios



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC=PI-T1$$

$$PCC=PC+\Delta C1$$

$$PT=PCC+\Delta C2$$

Inicialmente se tiene que $\Delta=\Delta_1+\Delta_2$

Por ley de senos se plantea que:

$$\frac{a}{\text{Sen}\Delta_2} = \frac{b}{\text{Sen}\Delta_1} = \frac{A - B}{\text{Sen}(180 - \Delta)}$$

El segmento A-B es igual a T_1+T_2 y $\text{Sen}(180-\Delta)$ es igual a $\text{Sen} \Delta$ entonces:

$$\frac{a}{\text{Sen}\Delta_2} = \frac{b}{\text{Sen}\Delta_1} = \frac{T_1 + T_2}{\text{Sen}\Delta}$$

De donde:

$$a = \frac{\text{Sen}\Delta_2(T_1 + T_2)}{\text{Sen}\Delta}$$

$$b = \frac{\text{Sen}\Delta_1(T_1 + T_2)}{\text{Sen}\Delta}$$

Finalmente:

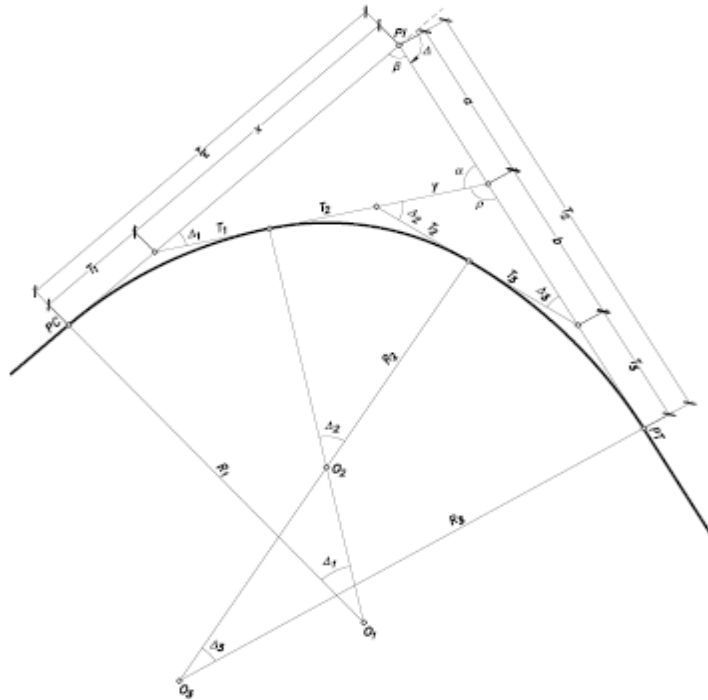
$$TE = T_1 + a$$

$$TS = T_2 + b$$

Los demás elementos y las deflexiones para cada curva se calculan de forma similar a una curva circular simple.

7.4.2 Curvas circulares compuestas de tres radios

Ilustración 15. Curva compuesta por tres radios



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

La ilustración 15 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 y Δ_3 respectivamente. Los puntos H y D son los puntos comunes a cada par de curvas circulares, o sea, los dos PCC de la curva compuesta. Para el cálculo y localización de la curva circular compuesta es necesario determinar la tangente larga TL y la tangente corta TC, así:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

TL = a – PI * G, donde;

$$a = AB + CD + EF$$

$$AB = AH - BH$$

EF = O3F - O3E, entonces;

$$TL = AB + CD + EF - PI * G$$

$$TL = AH - BH + CD + O3F - O3E - PI * G$$

PC: Punto de inicio de la curva circular.

PI: Punto de intersección entre dos alineamientos rectos horizontales.

PCC1: Punto de unión inicial entre dos curvas simples.

PCC2: Punto de unión final entre dos curvas simples.

PT: Punto de salida de la curva circular.

Ta: Tangente de entrada de la curva compuesta (PC-PI), en metros.

Tb: Tangente de salida de la curva compuesta (PI-PT), en metros.

I: Angulo de deflexión en el PI, en grados o radianes. ($I=I_1+I_2+I_3$)

I1: Angulo de deflexión curva inicial, en grados o radianes.

I2: Ângulo de deflexion curva intermedia, em grados o radianes.

I3: Ângulo de deflexión curva final, en grafos o radianes.

R1: Radio de curvatura inicial, en metros.

R2: Radio de curvatura intermédio, en metros.

R3: Radio de curvatura intermédio, em metros.

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC = PI - T1$$

$$PCC1 = PC + LC1$$

$$PCC2 = PCC1 + LC2$$

$$PT = PCC2 + LC3$$

7.5 CURVAS ESPIRALIZADAS

Son aquellas que facilitan el proceso de transición de peralte de una vía, brindando de este modo una comodidad en todos los tramos de un proyecto. El empalme que permite este proceso con mayor adaptabilidad es el de la clotoide con el cual se suaviza este paso entre curva y entre tangencia, tanto en el eje como en los bordes de la vía. Las principales ventajas de este tipo de empalmes que sirven dentro de las curvas espiral-circular-espiral y espiral-espiral son:

- Proporcionan una trayectoria fácil de seguir para los conductores alternando la fuerza centrífuga a medida que el vehículo entra o sale de un tramo curvo.
- La longitud de espiral se emplea para realizar la transición de peraltado.
- El desarrollo de peralte es progresivo, facilitando que la pendiente transversal de curvatura sea la de cada punto, dependiendo el radio de curvatura.
- Se adapta con facilidad a cualquier trazado topográfico.
- Se suprimen las discontinuidades al comienzo y final de las curvas circulares.
- Dentro de la clotoide se dice que su radio es inversamente proporcional a su longitud.
- Reemplaza entre tangencias largas, por curvas que brinden comodidad y seguridad, sin afectar al conductor su visibilidad.

7.6 LA CLOTOIDE O ESPIRAL DE EULER

Se trata de una curva plana que se desarrolla a partir de un punto dando vueltas, alejándose de él cada vez más y disminuyendo su radio. Con el empleo de las espirales se mejora considerablemente la apariencia en relación con curvas circulares únicamente. En efecto, mediante la aplicación de espirales se suprimen las discontinuidades notorias al comienzo y al final de la curva circular.

La ecuación fundamental de la espiral Clotoide es la siguiente:

$$L = \frac{A^2}{R}$$

Donde:

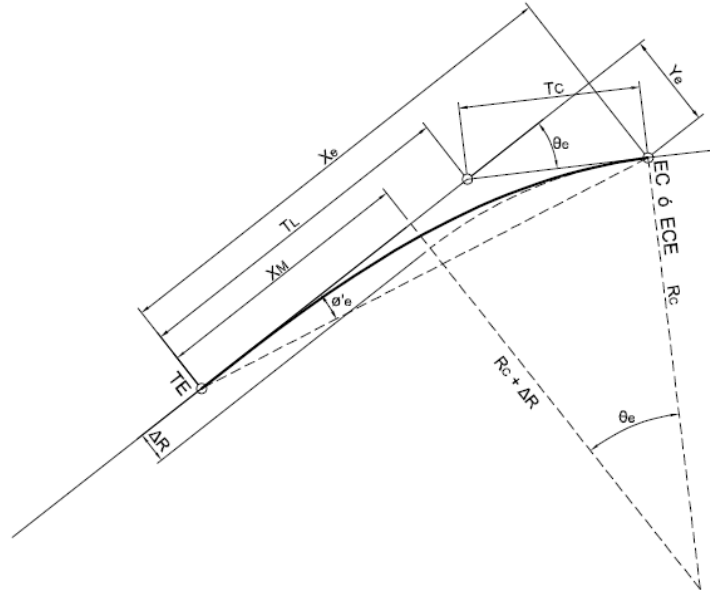
L: Longitud desde el origen a un punto de la curva, en metros.

R: Radios en los puntos indicados, en metros.

A: Parámetro de la Clotoide, en metros

7.6.1 Elementos de la espiral clotoide Los elementos de la clotoide (ver Ilustración 16) se pueden determinar utilizando las siguientes expresiones matemáticas:

Ilustración 16. Elementos del empalme espiral Clotoide.



Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

- Longitud del empalme espiral (L_e) donde el radio de la espiral es igual al radio (R_c):

$$L_e = A\sqrt{2 * \theta_e} ; \theta_e \text{ en radianes}$$

- Angulo de deflexión o ángulo al centro de la espiral (θ_e):

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

- Angulo al centro de la espiral (θ) en un punto de la espiral ubicado a una distancia dada (l) desde el origen:

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

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

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

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

- Deflexión de un punto de la espiral ubicado a una distancia (l) desde el origen:

$$\phi' = \text{arc tan} \left(\frac{y}{x} \right)$$

Los anteriores elementos: ángulo de desviación (θ), coordenadas (x, y) y el ángulo de deflexión ϕ' se utilizan para localizar el empalme espiral en el campo.

- Coordenadas (Xe, Ye) en el punto EC (CE) del empalme espiral ubicado a una distancia Le desde el origen.

$$Xe = Le * \left(1 - \frac{\theta e^2}{10} + \frac{\theta e^4}{216} - \frac{\theta e^6}{9360} + \frac{\theta e^8}{685440} - \dots \right); \theta e \text{ en radianes}$$

$$Ye = Le * \left(\frac{\theta e}{3} - \frac{\theta e^3}{42} + \frac{\theta e^5}{1320} - \frac{\theta e^7}{75600} + \dots \right); \theta e \text{ en radianes}$$

- Disloque de la espiral, valor exacto.

$$\Delta R = Ye + Rc * (\text{Cos } \theta e - 1); \theta e \text{ en grados}$$

- Desplazamiento de la espiral, valor aproximado:

$$\Delta R = \frac{Le^2}{24 * Rc}$$

Con el valor aproximado del desplazamiento se puede obtener un valor inicial o tentativo de la Longitud de la Espiral o de su Parámetro para definir posteriormente los elementos definitivos de la Clotoide y con iteraciones sucesivas ajustar el valor de Le hasta obtener el valor exacto del desplazamiento requerido utilizando la ecuación exacta del desplazamiento.

- Coordenadas del centro (X_m , Y_m) del arco circular cuyo radio es R_c :

$$X_m = X_e - Rc * \text{Sen} \theta_e; \theta_e \text{ en grados}$$

$$Y_m = Rc + \Delta R$$

- Longitud de la tangente larga

$$Tl = X_e - \frac{Y_e}{\text{Tan} \theta_e}$$

- Longitud de la tangente corta

$$Tc = \frac{Y_e}{\text{Sen} \theta_e}$$

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

$$\phi_e' = \text{arc tan} \left(\frac{Y_e}{X_e} \right)$$

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

$$CLe = \sqrt{Xe^2 + Ye^2}$$

7.6.2 Longitud mínima según variación de la aceleración centrífuga. Este aspecto va muy ligado al de la transición del peralte. Aunque el valor de la inclinación de rampa de peralte (I) ha considerado la comodidad para el alabeo que se experimenta en el ascenso y descenso de los bordes de calzada con respecto al eje de esta en la transición del peralte, existen algunas fórmulas que permiten calcular la longitud mínima que garantice un buen confort.

Se tiene una fórmula general deducida a partir de la ecuación de equilibrio de un vehículo en movimiento en una curva:

$$Le \geq \frac{V}{46.66C} * \left[\frac{V^2}{Rc} - 127 * e \right]$$

Donde:

V = Velocidad (Km/h)

Rc = Radio de la curva (m)

e = Peralte (decimales)

C = Variación de la aceleración radial por unidad de tiempo (m/s³)

El parámetro C es una constante empírica que se asume de acuerdo al grado de comodidad que se desee obtener y se ha demostrado experimentalmente que varía entre 0.3 y 0.9 recomendándose un valor promedio de 0.6 m/s³.

Existe la fórmula de **Smirnoff** la que aconseja un valor para C de 0.41 6 m/s³, por lo que se tiene:

$$Le \geq \frac{V}{19} * \left[\frac{V^2}{Rc} - 127 * e \right]$$

La fórmula de **shortt** no tiene en cuenta el peralte por lo que se convierte en:

$$Le \geq \frac{V^3}{46.66 * C * Rc}$$

Por último, se tiene la fórmula de **Barnett** que es la misma de Shortt, pero con un valor de C de 0.6 m/s³:

$$Le \geq \frac{V^3}{28 * Rc}$$

Asstho

Según esta institución norteamericana la longitud mínima de espiral no debe ser inferior a la distancia recorrida durante dos segundos a la velocidad de diseño. Quiere decir esto que:

$$Le \geq \frac{Vd}{1.8}$$

Con Vd en Km/h y Le en metros.

Longitud mínima según el INVIAS.

El Instituto Nacional de Vías maneja todos los criterios anteriores, pero a partir del parámetro de la clotoide, es decir el valor de A. Quiere decir que el INVIAS. considera que:

$$A_{min} = \sqrt{R_c \cdot L_e}$$

El valor de L_e se reemplaza entonces por los definidos en los criterios anteriores.

Según Velocidad de Diseño. Independientemente de los criterios anteriores, se recomienda un valor mínimo absoluto para la longitud de la espiral a partir de la velocidad de diseño. Estos valores son:

Tabla 6. Longitud mínima absoluta de espiral

Vd (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Le mínima (m)	25	30	35	40	45	50	55	60	65

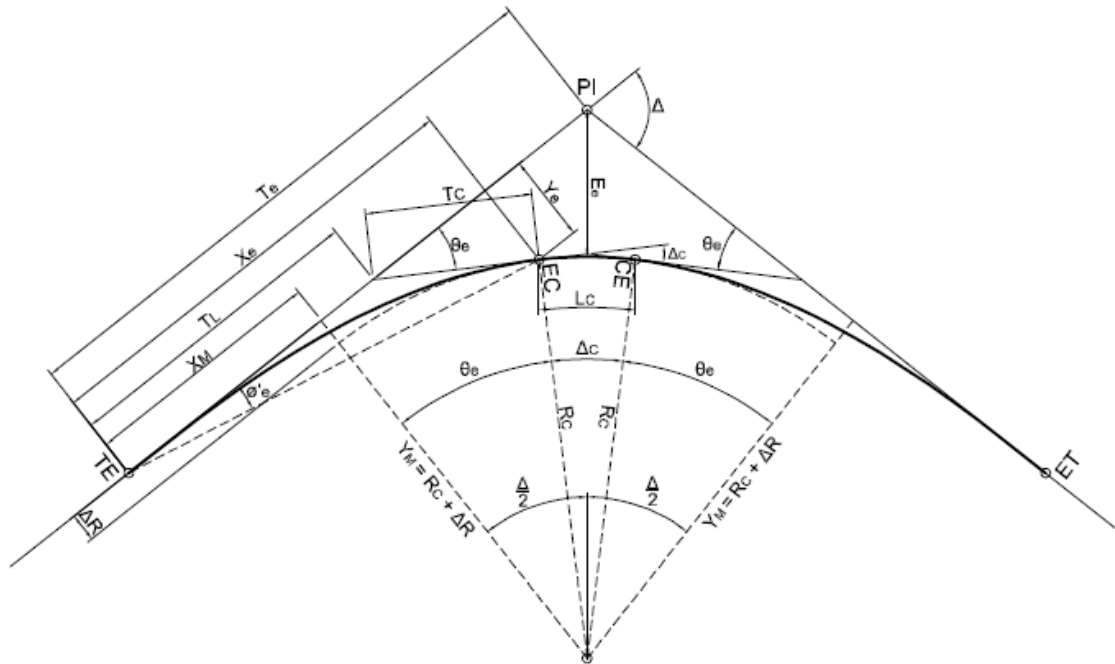
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

7.7 CURVA ESPIRAL CIRCULAR ESPIRAL

Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión (Δ) mediante arcos de transición y un arco circular de Radio (RC). Los arcos de transición corresponden a espirales Clotoides, es decir el empalme espiralizado puede ser simétrico de igual parámetro o asimétrico de diferente parámetro A_1 y A_2 para cada espiral.

7.7.1 Curva espiral circular espiral simétrico La Ilustración 16, muestra la localización de cada uno de los elementos geométricos de un empalme espiral-círculo – espiral simétrica.

Ilustración 17. Elementos del empalme espiral - círculo - espiral (simétrico)



Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías d

TE = Punto de empalme entre la recta y la espiral

EC = Punto de empalme entre la espiral y el arco circular

CE = Punto de empalme entre el arco circular y la espiral

ET = Punto de empalme entre la espiral y la recta

Δ = Deflexión de la curva.

R_c = Radio curva circular

L_e = Longitud curva espiral

θ_e = Delta o deflexión curva espiral

X_c = Coordenada X de la espiral en los puntos EC y CE

Y_c = Coordenada Y de la espiral en los puntos EC y CE

P = Disloque = Desplazamiento del arco circular con respecto a la tangente

K = Abscisa Media. Distancia entre el TE y el punto donde se produce el disloque

T_e = Tangente de la curva. Distancia TE – PI y PI - ET

Ee = Externa

TI = Tangente larga. Distancia entre TE o ET y Ple

Tc = Tangente corta. Distancia entre Ple y EC o CE

Ce = Cuerda larga de la espiral. Línea que une TE con EC y CE con ET

Φ = Angulo de la cuerda larga de la espiral

Δ_c = Deflexión de la curva circular

G = Grado de curvatura circular

Lc = Longitud curva circular

Cc = Cuerda larga circular

- Deflexión en el PI o deflexión total del empalme:

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

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

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

- Longitud de empalme circular:

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

La longitud mínima aceptable del tramo circular para la espiral – círculo – espiral, simétrica o asimétrica, es la correspondiente a la distancia que pueda recorrer un vehículo a la Velocidad Específica (VCH) del elemento durante dos segundos (2 s), es decir:

$$L_c \text{ min} = 0.556 * V_{ch}; V_{ch}: \text{Velocidad especifica en km/h}$$

- Tangente del sistema de empalme:

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

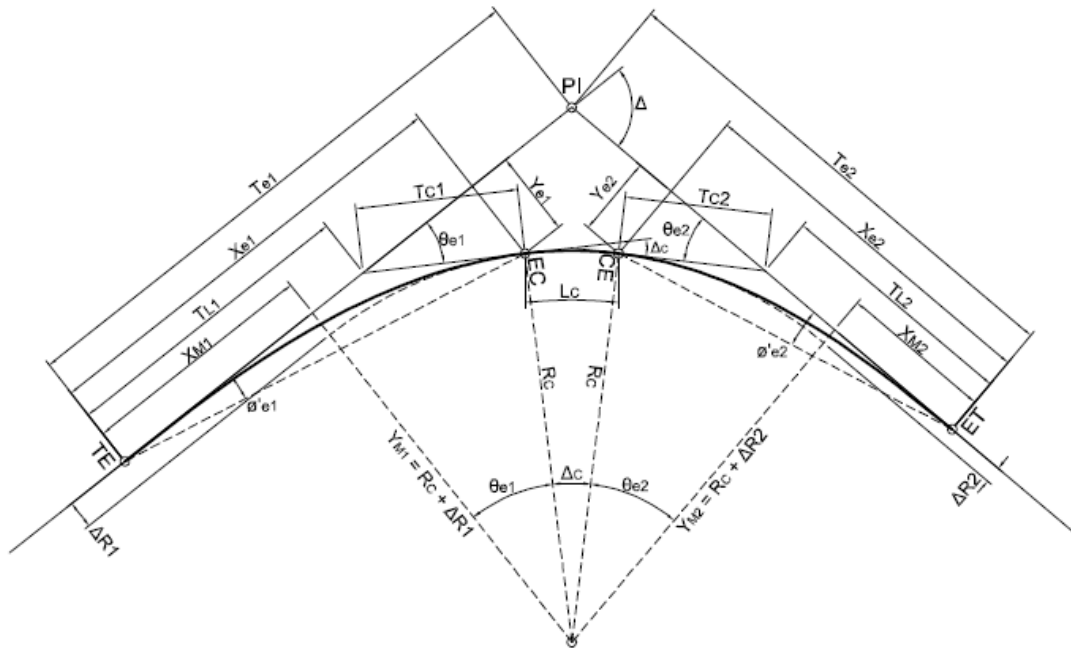
- Externa del sistema de empalme:

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

7.7.2 Curva espiral circular espiral asimétrico De igual forma que el caso anterior los elementos de las espirales Clotoide que forman el empalme son mismos nombrados anteriormente. Espiral clotoide, con la salvedad que los parámetros de las espirales son diferentes (asimétrica), por lo tanto, se tienen los siguientes elementos básicos para cada espiral: A1, A2, Le1, Le2, θ_{e1} , θ_{e2} . De estos elementos se pueden obtener los demás elementos de las espirales individualmente para cada rama.

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

Ilustración 18. Elementos del empalme espiral - círculo - espiral (asimétrico)



Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

- Deflexión en el PI o deflexión total del empalme:

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

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

$$\Delta_c = \Delta - (\theta_{e1} + \theta_{e2})$$

- Longitud de empalme circular:

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

- Tangente del sistema de empalme

$$Te1 = (Rc + \Delta R1) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + XM1 - d; \text{ para Le mayor, } \Delta \text{ en grados.}$$

$$Te2 = (Rc + \Delta R2) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + XM2 - d; \text{ para Le menor, } \Delta \text{ en grados.}$$

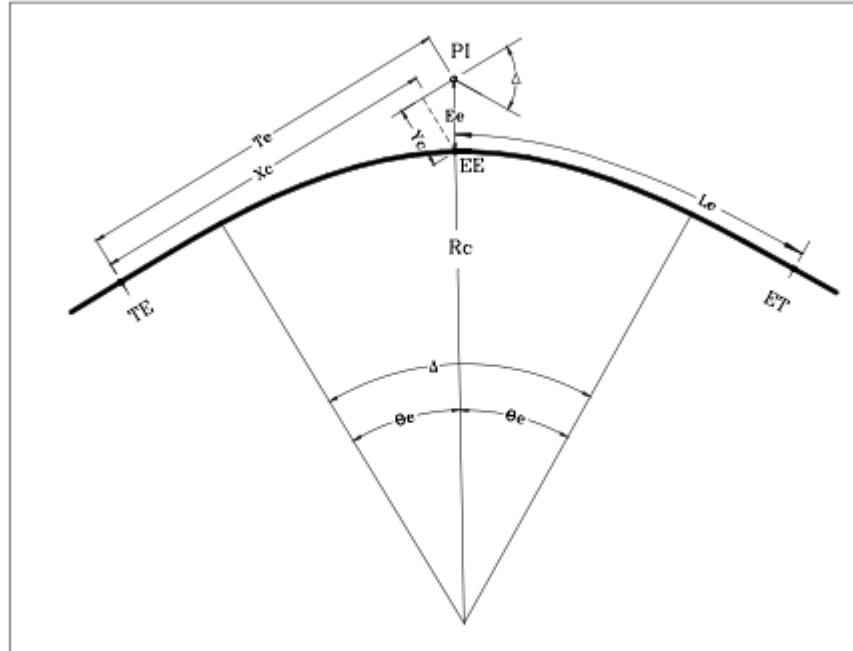
$$d = \frac{\Delta R1 - \Delta R2}{\text{Sen}(\Delta)}; \Delta \text{ en grados.}$$

7.8 CURVA ESPIRAL – ESPIRAL.

Este tipo de curvas se presentan cuando su deflexión es pequeña, regularmente por debajo de los 30°. Aunque se pudiese aumentar el radio y/o disminuir la longitud espiral, para obtener una curva espiral – circular – espiral con longitud circular positiva, la mayoría de los ingenieros prefieren utilizar la curva espiral – espiral por varias razones, disminuyen los cálculos de los elementos y se reducen los trabajos de campo.

Los elementos de la curva espiral – espiral son los mismos de la curva espiral – circular – espiral con excepción al tramo circular, es decir, la deflexión circular, el grado de curvatura, la longitud circular y la cuerda larga circular. En la siguiente ilustración se presenta la geometría de la curva espiral – espiral.

Ilustración 19. Geometría curva espiral – espiral



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Inicialmente se puede calcular el valor de la deflexión espiral que está dado por

$$\text{Deflexión curva espiral} = \theta_e = \frac{\Delta}{2} \text{ (en grados)}$$

Se tiene además que:

$$\text{Tangente principal de la curva} = T_e = X_c + E_e \cdot \text{Sen}(\theta_e)$$

$$\text{Abscisa del EC (Extremo de la curva)} = X_c = L_e \left(1 - \frac{\theta_e}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} \right)$$

$$\text{Ordenada del EC (Extremo de la curva)} = Y_c = L_e \left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} \right)$$

$$\text{Externa} = E_e = \frac{Y_c}{\text{Cos}(\theta_e)}$$

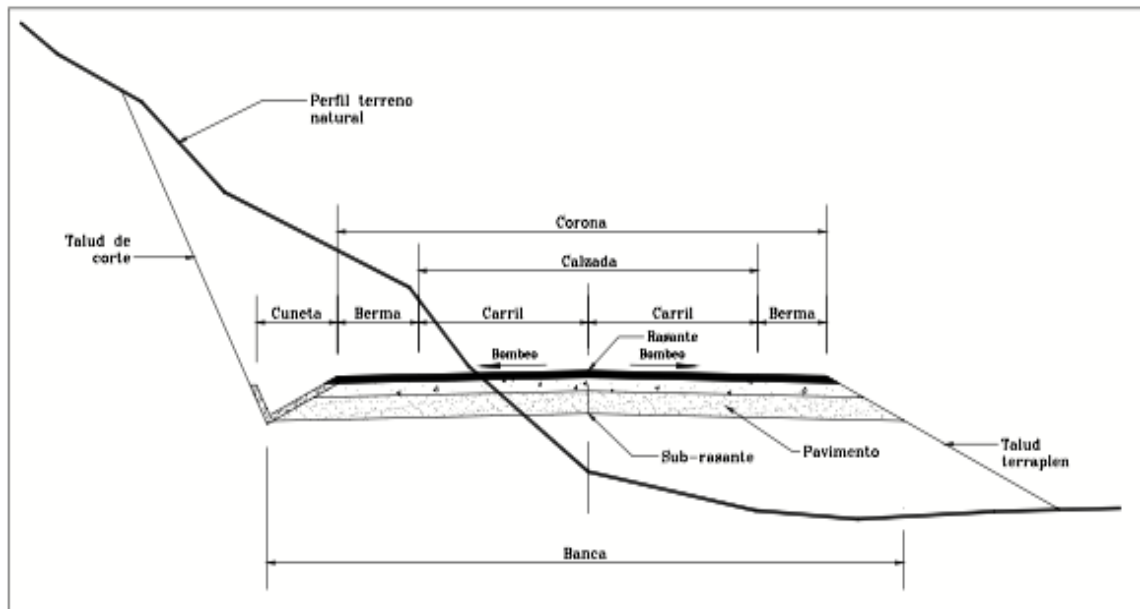
8. SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal de una vía es el perfil del terreno en dirección normal al eje de la carretera

8.1 ELEMENTOS

Los elementos que conforman y definen la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, corona, banca, calzada, bermas, separador, carriles especiales, andenes, cunetas, defensas, taludes y elementos complementarios. En la Ilustración 20 se presenta una sección transversal típica con sus respectivos elementos.

Ilustración 20. Sección transversal



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

8.1.1 Ancho de zona o derecho de vía. Corresponde a la franja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento y futuras ampliaciones de la vía. El ancho de zona mínimo depende básicamente del tipo de vía, los anchos de zona mínimos recomendados se observan en la siguiente tabla.

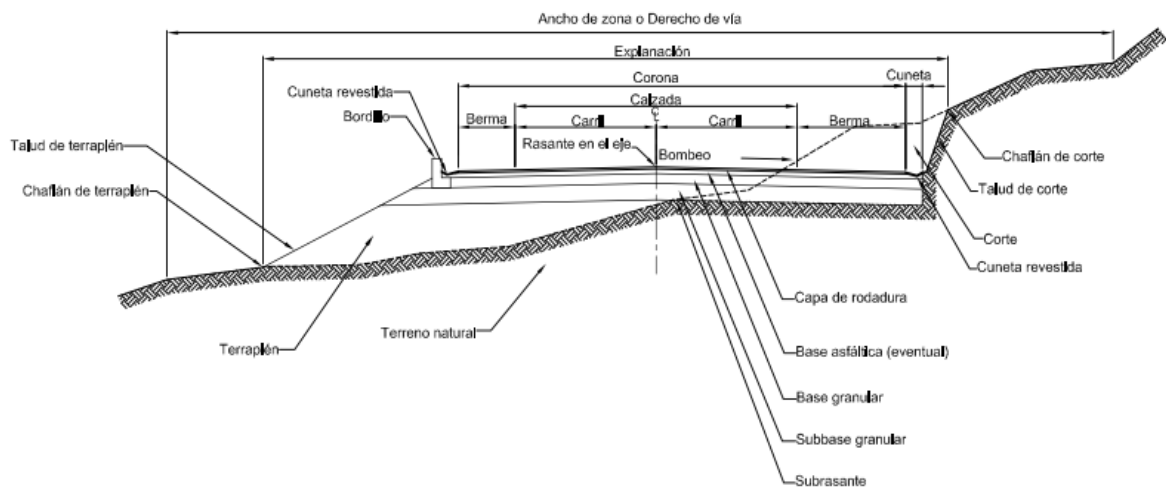
Tabla 7. Ancho de zona

TIPO DE CARRETERA	ANCHO DE ZONA MINIMO (m)
Carretera principal de dos calzadas	Mayor a 30
Carretera principal de una calzada	24 – 30
Carretera secundaria	20 – 24
Carretera terciaria	15 – 20

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

8.1.2 Corona Es la unión formada 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. Los elementos que definen la corona son: rasante, pendiente transversal, calzada y bermas.

Ilustración 21 Sección Transversal en Vías Secundarias



Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

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

Tabla 8. Ancho de Calzada (metros)

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

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

8.1.2.2 Pendiente Transversal. Es la pendiente que se da tanto a la corona como a la banca normal a su eje con el objetivo de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Según su ubicación con respecto a los elementos del alineamiento horizontal se pueden presentar dos tipos de pendiente transversal:

Bombeo: Inclinación transversal de la calzada que tiene el propósito de evacuar las aguas superficiales y evitar el fenómeno de **hidroplaneo**. El bombeo apropiado debe permitir un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, su valor depende

del tipo de superficie de rodamiento y sus valores recomendados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 9. Bombeo de la calzada.

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: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

Peralte: Es la pendiente transversal que se le da a la calzada en tramos curvos con el fin de neutralizar el efecto de la fuerza centrífuga y evitar que los vehículos se salgan de la vía. El valor del peralte depende básicamente de radio de la curva en Colombia se ha fijado un peralte máximo del 8.0%.

8.1.2.3 Rasante. En la sección transversal está representada por un punto que indica la altura de la superficie de acabado final de la vía en el eje. La sub-rasante es aquella superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento.

8.1.2.4 Bermas. La berma es la franja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple con ciertas funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores de la erosión y la inestabilidad, permite paradas ocasionales de los vehículos y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

Las bermas pueden estar construidas al mismo nivel de la calzada o un poco más bajo que esta, debe tener un ancho constante y estar libre de obstáculos para que cumpla con su funcionalidad. El ancho de las bermas depende de la función de la

carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR). En la Tabla 9 se presenta el ancho que deben tener.

Tabla 10. Ancho de Bermas

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V _{TR}), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas ¹	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria ²	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

¹ Berma derecha/Berma izquierda

² Berma cuneta

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías.

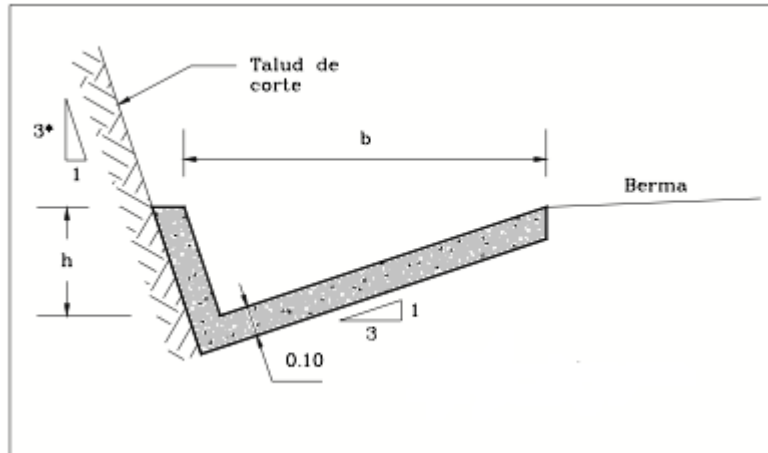
Si la carretera tiene una sola calzada, las bermas deben tener un ancho constante. Si la carretera es de dos calzadas en la tabla encontrara que el primer valor corresponde al ancho de berma exterior y el segundo valor es para el ancho de berma interior.

8.1.3 Banca. Distancia horizontal, medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los bordes laterales.

8.1.4 Cunetas Son zanjas abiertas, construidas en concreto o en tierra, que tienen la función de recoger y canalizar longitudinalmente las aguas superficiales y de infiltración y conducir las hasta un punto de fácil evacuación. Las dimensiones de una cuneta se deducen de cálculos hidrológicos e hidráulicos que tienen en cuenta la intensidad de lluvia prevista, naturaleza del terreno, pendiente de la cuneta, área drenada, material y forma de la cuneta, etc.

En la Ilustración 18 se tiene una cuneta con inclinación 3:1 hacia el lado de la berma y 1:3 hacia el lado del talud.

Ilustración 22. Cuneta



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

8.1.5 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. y se designa de la siguiente manera; por ejemplo, un corte 1: 3 es un talud de 1 m vertical por 3 m horizontal.

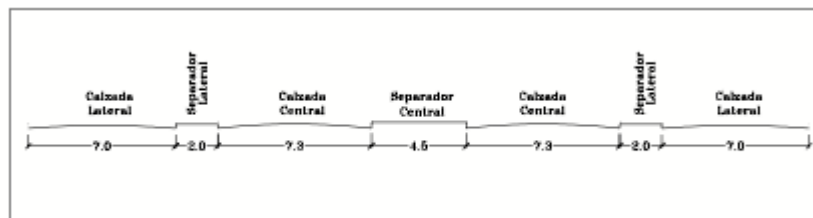
La inclinación de un talud depende de dos elementos, depende de las características y propiedades del suelo y de la altura del talud, a mayor altura del corte o terraplén se requiere una menor inclinación del talud.

8.1.6 Separador Son áreas, generalmente zonas verdes o en concreto, ubicadas entre calzadas y de forma paralela a estas. Su finalidad es la de independizar el tránsito entre calzadas contiguas, sean en sentido inverso o en el mismo sentido de circulación.

Pueden ser centrales o laterales siendo de mayor ancho el central. Sus principales funciones son:

- Evitar las interferencias con el tránsito que circula en sentido contrario.
- Crear zonas de parqueo momentáneo, al reducirles su tamaño, de vehículos con giro a la izquierda (bahías).
- Minimizar el encandilamiento de las luces de los vehículos en sentido opuesto.
- Crear zonas para futuros ensanches.
- Crear zonas para la recuperación de vehículos que han perdido momentáneamente el control.
- Construir retornos.
- Brindar mayor seguridad.
- Desarrollar proyectos paisajísticos brindando una mejor estética.
- Ubicación de señalización y alumbrado público.

Ilustración 23. Sección con separador central y latera



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

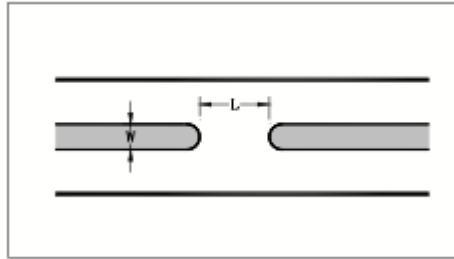
En las intersecciones la abertura del separador es función del ancho, tal como se indica en la Tabla 10 y la ilustración 23.

Tabla 11. Abertura del separador en función del ancho.

W (m)	1.20	1.80	2.40	3.00	4.60	> 6.0
L (m)	23.00	20.00	18.00	17.00	15.00	14.00

Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Ilustración 24. Abertura del separador



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

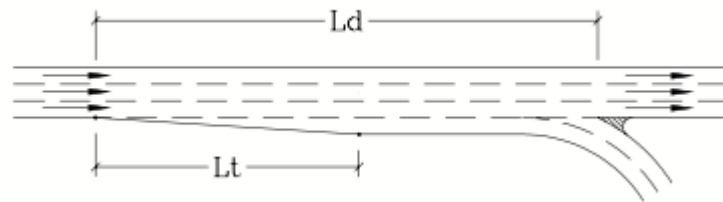
8.1.7 Carriles especiales Son carriles adicionales o ensanchamientos que se construyen con el fin de permitir cambios de velocidad, aceleración o desaceleración, sobre la vía principal de modo que no interfieran el tráfico sobre esta, evitando congestiones y accidentes. El ancho de un carril de desaceleración debe ser igual al adyacente o como mínimo 3.30 m. De acuerdo a su función se dividen en tres:

CARRIL DE DESACELERACIÓN.

Se emplean cuando se presenta una salida de la vía principal a una secundaria permitiendo que los vehículos disminuyan su velocidad de forma gradual hasta obtener la velocidad de la vía secundaria sin crear interferencia a los vehículos que continúan por la principal. Existen dos tipos, el directo y el paralelo, siendo más aconsejable el primero ya que se acomoda mejor a la trayectoria de los vehículos.

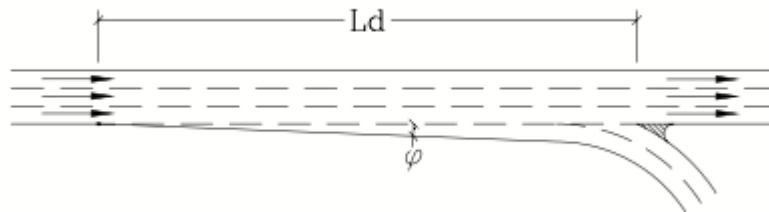
Las dimensiones de un carril de desaceleración dependen de la velocidad de la vía principal y la secundaria. Los valores se indican en la Tabla 11.

Ilustración 25. Carril de desaceleración paralelo



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Ilustración 26. Carril de desaceleración directa



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Tabla 12. Carriles de desaceleración

CARRILES DE DESACELERACION									
Velocidad vía principal (Km/h)	Longitud de Transición Lt (m)	Velocidad específica del ramal de giro (Km/h)							Angulo de Incidencia
		PARE	25	30	40	50	60	80	φ
Longitud total incluyendo la transición Ld (m)									
50	45	70	50	45	45	-	-	-	12
60	55	90	70	70	55	55	-	-	10
70	60	105	90	90	75	60	60	-	8
80	65	120	105	105	90	75	65	-	6
100	75	140	125	125	110	95	80	75	5
120	90	160	145	145	130	130	110	90	4

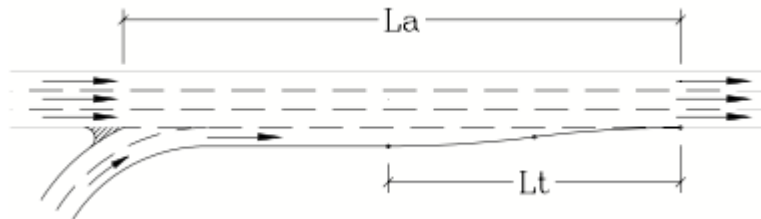
Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

CARRILES DE ACELERACIÓN.

Son necesarios cuando se accede desde una vía secundaria a una vía principal de modo que el vehículo que ingresa pueda hacerlo a una velocidad apropiada sin

crear interferencia sobre los vehículos que circulan por la vía principal. (Ilustración 26)

Ilustración 27. Carril de aceleración



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

En este caso el carril debe ser paralelo de forma que el vehículo que ingresa no lo haga de forma completa hasta que tenga la disponibilidad y velocidad adecuada. Sus dimensiones también dependen de las velocidades de las vías comprometidas y se indican en la Tabla 25.

Tabla 13. Carriles de aceleración

CARRILES DE ACELERACIÓN								
Vías con gran intensidad de tránsito								
Velocidad vía principal (Km/h)	Longitud de transición Lt (m)	Velocidad específica del ramal de giro (Km/h)						
		PARE	25	30	40	50	60	80
		Longitud total incluyendo la transición. La (m)						
50	45	90	70	55	45	-	-	-
60	55	140	120	105	90	55	-	-
70	60	185	165	150	135	100	60	-
80	65	235	215	200	185	150	105	-
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
Otras vías								
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

8.1.8 Bordillo o sardinel. Son pequeñas estructuras que sobresalen verticalmente en los bordes de la calzada o berma y se emplean principalmente para:

- Orientar el tránsito
- Encausar las aguas
- Delimitar andenes y la calzada.

Los hay de dos tipos:

- Los que son barreras para el tránsito, con altura superior a 15 centímetros
- Los remontables, de altura inferior a 15 cm.

Los que son barrera para el tránsito no deben utilizarse en vías con velocidades de diseño iguales o mayores a 60 K/h ya que es difícil controlar un vehículo a esas velocidades después de golpear un bordillo.

8.1.9 Defensas. Son elementos que se instalan usualmente dentro de la sección transversal de una carretera. Estas proporcionan a los ocupantes de los vehículos un cierto grado de protección contra algunas de las estructuras potencialmente peligrosas.

La función principal de las defensas que se instalan a lo largo de los bordes de una carretera, es la de devolver a su trayectoria normal al vehículo que se ha salido accidentalmente de la calzada.

Los principales criterios para la ubicación de las defensas metálicas son los siguientes:

- Hombrillos con pendientes mayores de 1/1, que creen desniveles con la calzada mayor es de 60 centímetros a menos de 6 metros de la calzada.
- Taludes muy inclinados no aptos para que un vehículo pueda recuperar su control.

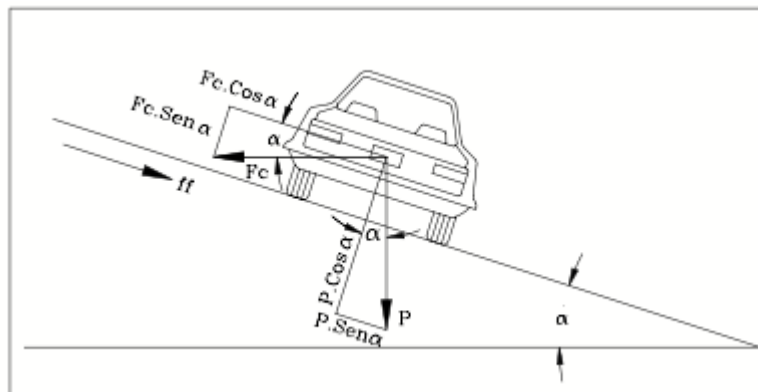
- Presencia de zanjas muy cercanas cuya sección no permita el paso de un vehículo.
- En todas las estructuras de puentes, tales como los estribos, pilas, aletas, etc., colocadas dentro de la plataforma o en sus inmediaciones.
- Donde existan cortes rocosos, peñones, cuerpos de agua profunda, hileras de árboles, etc, a distancias menores de 9.0 metros del borde de calzada.

9. DISEÑO DE PERALTE

9.1 DINÁMICA DE UN VEHÍCULO EN LA CURVA

Cuando un vehículo se desplaza sobre una curva de radio R, en metros, a una velocidad uniforme V, en metros por segundo, experimenta una fuerza centrífuga en dirección del centro de la curva, equivalente a $F_c = m.a$ (Figura)

Ilustración 28. Dinámica de un vehículo en una curva



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

La aceleración centrífuga está dada por:

$$F_c = \frac{P * V^2}{g * R}$$

Donde:

P = peso

g = aceleración de la gravedad

R = radio de la curva (m)

V = velocidad (m / seg)

Esta fuerza centrífuga se contrarresta por una o las dos de las siguientes fuerzas:

- Por la fricción que se presenta entre las llantas y la superficie de rodadura de la vía.
- Elevando el borde exterior con respecto al interior, elevación que se llama peralte. El peralte inclina el vehículo y su peso puede ser descompuesto en una componente normal al piso y otra paralela a este. Esta última es la segunda fuerza que contrarresta la fuerza centrífuga.

A continuación, la fórmula simplificada para el cálculo del peralte en función del radio de la curva, en metros y la velocidad en kilómetros por hora y el coeficiente de fricción lateral.

$$e = \frac{Ve^2}{127 * R} - f$$

9.2 VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL

A partir de innumerables pruebas realizadas por diferentes organizaciones se han obtenido valores aplicados al diseño del peralte como función de la velocidad. Los valores del coeficiente de fricción, que se presentan en la Tabla 13, disminuyen al aumentar la velocidad.

Tabla 14. Coeficiente de fricción lateral

Velocidad específica (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Coeficiente de Fricción lateral	0.18	0.172	0.164	0.157	0.149	0.141	0.133	0.126	0.118	0.11	0.10	0.094	0.087

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

9.3 PERALTE MAXIMO

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

En Colombia el INVIAS. ha determinado un peralte máximo para vías rurales del 0.08 (8.0%), el cual permite manejar aceptables velocidades específicas y no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores. La AASHTO recomienda un peralte máximo del 12.0% para vías rurales. Para vías urbanas, teniendo en cuenta las menores velocidades que normalmente se desarrollan en estas y las dificultades que se presentan al tratar de poner peraltes altos con los paramentos de las edificaciones adyacentes, con las vías existentes que se cruzan con la que se está diseñando o con las que sirven de acceso a las proximidades aledañas la ASSHTO propone que puede bajarse el máximo hasta el 4 o 6% en los casos en que se presentan tales dificultades, de lo contrario debe utilizarse el peralte requerido.

Se intuye, además, que el peralte máximo ha sido considerado en nuestro país solo hasta el 8.0% debido a las altas pendientes que presentan las vías colombianas las cuales comprenden un alto volumen de tráfico pesado, sin ser apropiadas para este.

Un vehículo pesado puede perder fácilmente el equilibrio en una curva con valores de peralte y pendiente longitudinal altos aún con un radio amplio.

9.3.1 Para carreteras Primarias y Secundarias Para estos tipos de vías establece, como peralte máximo el ocho por ciento (8%), el cual permite no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores (tracto – camión) los cuales pueden tener un alto potencial de volcamiento por curvas con peraltes muy altos.

Valor del Peralte (e) en función de la Velocidad de diseño (Vd)

Una vez asignada la Velocidad de diseño a cada curva horizontal y con el radio de curvatura establecido, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su radio permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la Velocidad Específica. Para ello, en el presente Manual se ha adoptado el criterio de la AASHTO – 2004. Éste método involucra el principio fundamental de que cuando un vehículo recorre una trayectoria curva la compensación de la fuerza centrífuga es realizada fundamentalmente por el peralte de la calzada y cuando el peralte ya resulta insuficiente, completa lo requerido para la compensación de la fuerza centrífuga demandando fricción transversal.

Tabla 15. Radios según la velocidad de diseño y peralte para e(max)= 8%

e (%)	V _{CH} = 40	V _{CH} = 50	V _{CH} = 60	V _{CH} = 70	V _{CH} = 80	V _{CH} = 90	V _{CH} = 100	V _{CH} = 110	V _{CH} = 120	V _{CH} = 130
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2,0	571	791	1090	1450	1790	2190	2650	3090	3640	4000
2,2	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2,4	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2,6	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2,8	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3,0	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3,2	326	456	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3,4	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3,6	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3,8	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4,0	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4,2	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4,4	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4,6	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4,8	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5,0	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5,2	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5,4	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5,6	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5,8	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6,0	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6,2	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6,4	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6,6	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6,8	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7,0	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7,2	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7,4	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7,6	57	99	150	221	298	389	499	621	803	962
7,8	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8,0	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

9.3.2 Ejercicio Obtener el peralte máximo para una carretera secundaria según los siguientes datos.

Datos:

$$\Delta = 13^{\circ}31'02''$$

$$R = 105.00 \text{ m}$$

$$C = 10.00$$

$$V_d = 50 \text{ km/h}$$

Solución:

De la tabla 14 se obtiene

e(%)	Vd= 50 Km/h R(m)
7.4	107
7.6	99

Para obtener el valor del peralte máximo se realiza una regresión lineal

$$Y = mx + b$$

$$Y = \left(\frac{-0.2}{8}\right)x + 10.075$$

Reemplazando x por el valor del radio (105 m) obtenemos:

$$e(max) = 7.45\%$$

9.4 RADIOS MINIMOS ABSOLUTOS

Una vez definidos el peralte máximo, el coeficiente de fricción máximo y la velocidad específica, podemos determinar el radio mínimo con la expresión:

$$R_{min} = \frac{Ve^2}{127 * (e_{max} + f_{max})}$$

Donde:

R_{min} = Radio mínimo absoluto

V_e = Velocidad específica (Km/h)

e_{max} = peralte máximo asociado a V_e , en tanto por uno

f_{max} = coeficiente de fricción lateral máximo, asociado a V_e .

La Tabla 14 presenta los radios mínimos absolutos para las velocidades específicas indicadas y el valor recomendado de peralte. Para radios mayores al mínimo se debe utilizar valores de peralte inferiores al máximo de modo que la circulación sea cómoda y segura tanto para los vehículos rápidos como para los lentos. Para cada V_e entre 30 y 150 Km/h se ha recomendado un valor de peralte máximo y con los valores del factor de fricción lateral de la Tabla 13 se han calculado los valores del radio mínimo.

Tabla 16. Radios mínimos absolutos

Velocidad específica (Km/h)	Peralte máximo recomendado (%)	Fricción lateral (f_{max})	Factor $e+f$	Radio mínimo (m)	
				Calculado	Redondeado
30	8.0	0.180	0.260	27.26	30.00
40	8.0	0.172	0.2522	49.95	50.00
50	8.0	0.164	0.244	80.68	80.00
60	8.0	0.157	0.237	119.61	120.00
70	8.0	0.149	0.229	168.48	170.00
80	7.5	0.141	0.216	233.30	235.00
90	7.0	0.133	0.203	314.18	315.00
100	6.5	0.126	0.191	413.25	415.00
110	6.0	0.118	0.178	535.26	535.00
120	5.5	0.110	0.170	687.19	690.00
130	5.0	0.100	0.150	887.14	890.00
140	4.5	0.094	0.139	1110.29	1100.00
150	4.0	0.087	0.127	1395.00	1400.00

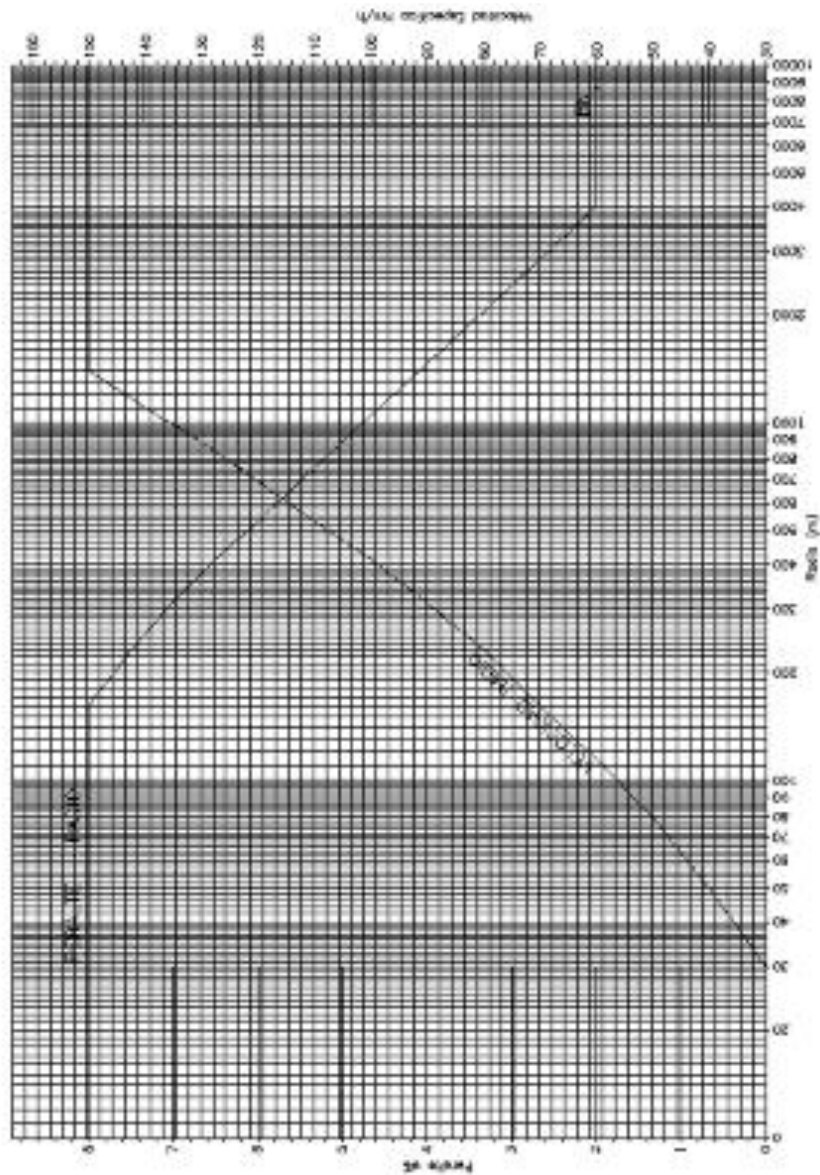
Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

La ilustración 28 permite obtener el peralte y el radio para una curva que se desea diseñar para una velocidad específica determinada. El uso del ábaco establece una relación única entre los elementos de diseño: radio, peralte y velocidad, con la cual se obtendrá diseños cómodos y seguros. Igualmente permite establecer el peralte y la velocidad específica para una curva que se desea diseñar con un radio dado.

Para curvas con radio comprendido entre 30 metros y 170 metros, correspondientes a una velocidad específica entre 30 y 70 Km/h respectivamente, el peralte deberá ser del 8%. Para valores mayores del radio, el peralte se obtiene de acuerdo con la ecuación de equilibrio que relaciona el radio, el peralte, la fricción transversal y la velocidad específica.

Las curvas con radio comprendido entre 4000 y 7000 metros, tendrán el 2% de peralte y una velocidad específica de 150 km/h. Existen curvas de radio amplio mayores a 7000 metros las cuales no requieren peralte, es decir la sección transversal corresponde al bombeo normal con inclinación transversal del 2%.

Ilustración 29. Relación peralte - radio velocidad - radio



Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

9.5 DESARROLLO DEL PERALTE

Cuando se presenta en el alineamiento horizontal una curva es necesario modificar la inclinación transversal desde el bombeo hasta el peralte requerido para la curva

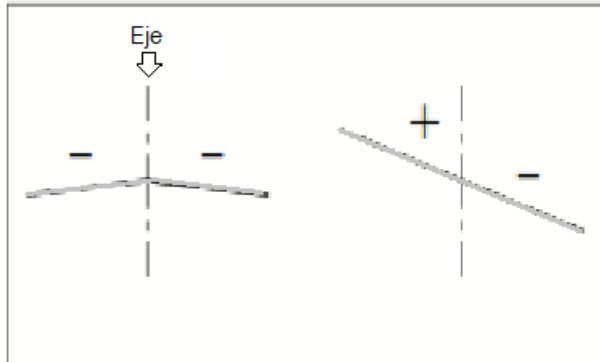
y luego después de la curva desde el peralte hasta el bombeo nuevamente. Esta modificación en la inclinación transversal, que se debe realizar a lo largo de una longitud apropiada, se denomina transición del peralte y se puede desarrollar de tres maneras:

- Girando el pavimento de la calzada alrededor de su línea central o eje: Es el más empleado ya que permite un desarrollo más armónico, provoca menor distorsión de los bordes de la corona y no altera el diseño de la rasante. Es además el más fácil de calcular.
- Girando el pavimento alrededor de su borde interior: Se emplea para mejorar la visibilidad de la curva o para evitar dificultades en el drenaje superficial de la carretera, en secciones en corte. Origina cambios en la rasante de la vía.
- Girando el pavimento alrededor de su borde exterior: Se usa cuando se quiere destacar la apariencia del trazado. Es el menos utilizado y el que genera mayores cambios en la rasante.

9.6 CONVENCION DEL PERALTE

Se llama positivo al peralte que eleva el borde con respecto al eje y negativo al que lo baja. Es importante tener en cuenta que en una curva el peralte eleva el borde externo y desciende el eje interno. El borde externo es el opuesto al centro de la curva mientras que el borde interno está ubicado hacia el centro de la curva.

Ilustración 30. Convención del peralte

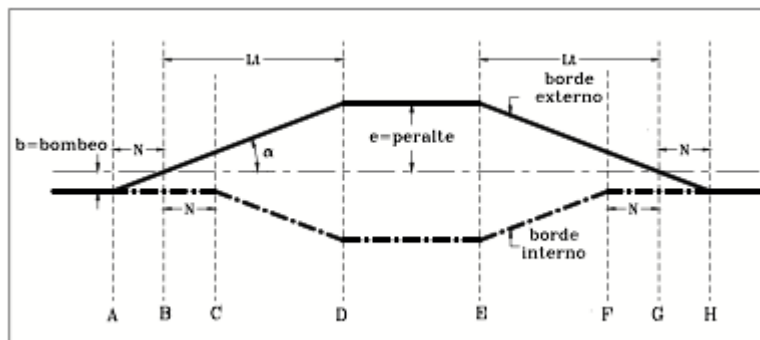


Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

9.7 LONGITUD DE TRANSICION DEL PERALTE

Para llevar a cabo el cambio de la sección transversal de una vía en tangente, cuya inclinación se denomina bombeo, a la sección transversal con el peralte requerido en una curva, se necesita establecer o diseñar una transición o longitud de transición que es la distancia en que se genera el cambio de la sección normal en tangente a la sección con peralte pleno en la curva. Dicha transición está compuesta por dos distancias. Ver ilustración 20

Ilustración 31. Transición del peralte



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

La primera distancia (N) es la transición del bombeo, o sea la distancia requerida para eliminar el peralte adverso. A lo largo de esta transición la pendiente del carril y la de la berma de la parte exterior de la curva pasa de la pendiente del bombeo, constantemente 2.0%, a una pendiente de 0.0%. Se conoce también como longitud de aplanamiento.

La segunda distancia es la transición del peralte propiamente dicha, que es la distancia en la cual adquiere el peralte total requerido por la curva. Inicialmente se eleva de forma constante el borde exterior de la vía a partir de la sección con peralte 0.0% hasta el punto donde adquiere la pendiente del bombeo, pero con valor positivo, mientras que el borde interno permanece fijo. A partir de este punto comienza a bajar el borde interior mientras que el exterior continúa subiendo, ambos a la misma razón y formando un solo plano, hasta el punto donde dicho plano adquiere la pendiente correspondiente al peralte necesario para la curva.

9.7.1 Rampa de peraltes Es la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación de los bordes de la misma. A lo largo de la longitud de transición (Lt) el borde externo asciende desde un peralte cero hasta el peralte (e) requerido para la curva.

$$Mr = \frac{e \cdot b}{Lt}$$

Donde:

Mr= Inclinación longitudinal de la rampa de peraltes o pendiente relativa (%)

e = Peralte máximo de la curva (%)

b = Distancia del eje al borde de la calzada (m)

Lt = Longitud de transición (m)

La inclinación longitudinal máxima para la rampa de peraltes está determinada por la velocidad específica, mientras que la mínima está definida para cualquier velocidad como $0.1 \times a$.

Tabla 17. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

VELOCIDAD ESPECIFICA (Km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE RAMPA DE PERALTES	
	Máxima(%)	Mínima(%)
30	1.28	$0.1 \times a$
40	0.96	
50	0.77	
60	0.64	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.48	
100	0.45	
110	0.42	
120	0.40	
130	0.40	
140	0.40	
150	0.40	

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

La ecuación con la cual se calcula la mínima longitud de transición del peralte de una curva de modo que satisfaga la máxima inclinación relativa de la rampa de peralte es:

$$L_t = \frac{e(max).b}{Mr}$$

9.7.2 Transición del bombeo

$$N = \frac{e.b}{Mr}$$

Donde:

N = Transición requerida para el bombeo (m)

e = Peralte de la curva (%)

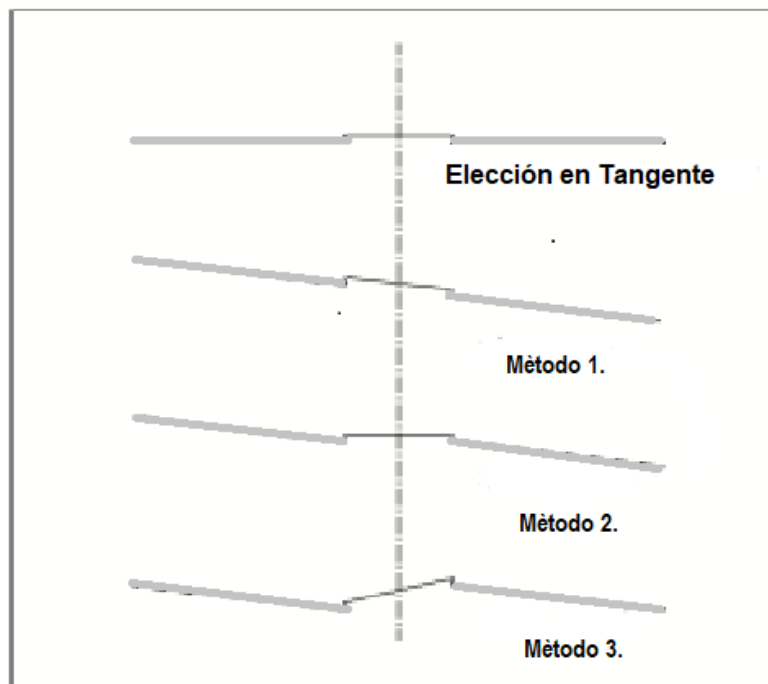
b = Distancia del eje al borde de la calzada (m)

L_t = Longitud de transición (m)

9.8 DESARROLLO DEL PERALTE CON SEPARADOR CENTRAL

Un separador central afecta en cierta forma el proceso de desarrollo del peralte en su etapa de diseño en carreteras de doble calzada. Existen tres métodos para desarrollar el peralte (Ilustración 32) que dependen de ancho del separador, del drenaje y de la sección transversal.

Ilustración 32. Desarrollo del peralte con separador central



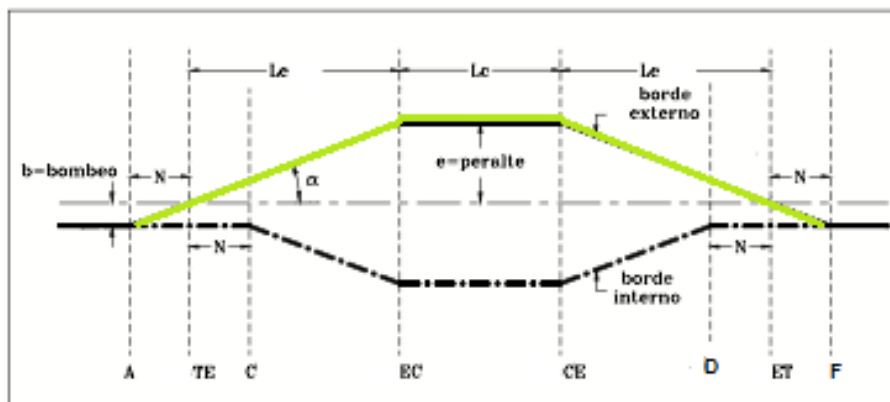
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

- Método 1: Las dos calzadas y el separador son ajustadas como una sola sección, obteniendo una sección plana.
- Método 2: El separador se mantiene siempre horizontal mientras que las dos calzadas rotan alrededor de los bordes del separador.
- Método 3: Las dos calzadas se tratan de forma independiente, girando cada una de ellas alrededor de su eje y generando una diferencia variable en la elevación de los bordes del separador.

9.9 UBICACIÓN DE LA LONGITUD DE TRANSICIÓN

9.9.1 Curva Espiral - Circular - Espiral. La longitud de la espiral es igual a la longitud de transición del peralte. Se debe tener en cuenta entonces que la longitud de la curva espiral siempre será como mínimo la longitud requerida para la transición del peralte

Ilustración 33. Transición de peralte en curva Espiral - Circular - Espiral.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

En la ilustración 33 se observa, que en el TE donde el radio es infinito el peralte es cero, mientras que en el EC donde el radio corresponde al mínimo para la curva, el peralte es el máximo. De igual manera se tiene para la espiral de salida, es decir desde el CE al ET.

Abcisdado del diagrama del peralte.

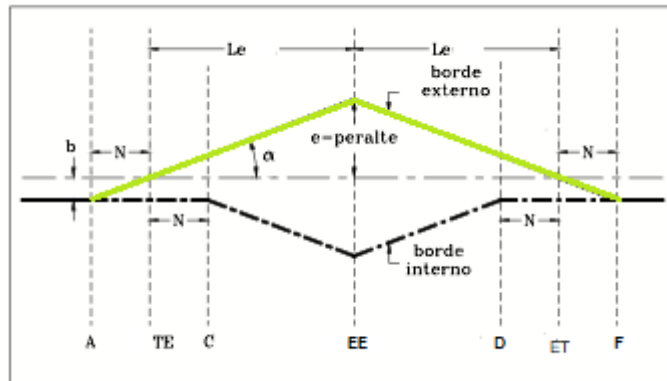
De acuerdo con la ilustración 33 para la curva Espiral - Circular – Espiral el abcisdado es el siguiente:

- $\text{Abscisa TE} = \text{Abscisa PI} - T_e$
- $\text{Abscisa EC} = \text{Abscisa TE} + L_e$
- $\text{Abscisa CE} = \text{Abscisa EC} + L_c$
- $\text{Abscisa ET} = \text{Abscisa CE} + L_e$

9.9.2 Curva Espiral – Espiral. Para una curva espiral – espiral el desarrollo del peralte sigue los mismos criterios que en una curva espiral – circular – espiral, con la diferencia que el peralte máximo solo se encuentra en el punto EE, es decir que no presenta un tramo constante.

Esto genera cambios en los bordes de la vía que pueden solucionar ubicando un tramo de peralte constante en la mitad de la curva y cuya longitud sea del orden de un tercio de la velocidad de diseño. En general este tramo puede estar entre 10 y 20 metros.

Ilustración 34. Transición del peralte en curva Espiral - Espiral.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Abcisdado del diagrama del peralte.

- Abcisa TE = Abcisa PI - T_e
- Abcisa EE = Abcisa TE + L_e
- Abcisa ET = Abcisa EE + L_e

9.9.3 Curvas circulares. La transición del peraltado se puede realizar ubicando parte de la transición dentro de la curva circular.

Transición en la tangente.

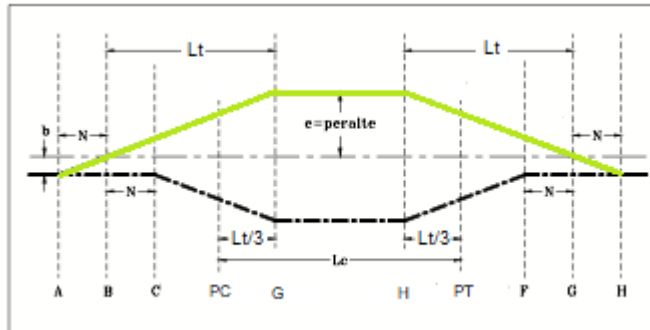
Es el procedimiento más adecuado ya que la totalidad de la curva circular quedará diseñada con el valor del peralte requerido de acuerdo a su radio de curvatura.

Transición en tramo recto y tramo curvo.

Se acostumbra a desarrollar parte de la transición del peralte dentro de la curva, más específicamente $1/3$ de la longitud de transición, a continuación, se indica el análisis cuando se usa esta metodología en la que el punto G, señala donde el

peralte alcanza su valor máximo y ubicado dentro de la curva circular a una distancia $Lt/3$ más allá del PC.

Ilustración 35. Diagrama del peralte al 70%



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

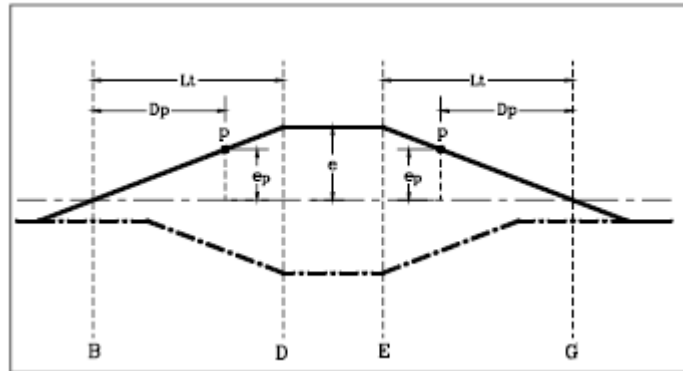
Abcisdado del diagrama del peralte.

- $\text{Abscisa PC} = \text{Abscisa PI} - T_e$
- $\text{Abscisa PT} = \text{Abscisa TE} + L_e$

9.10 CALCULO DE PERALTE

Para calcular el valor del peralte en un punto cualquiera p de la rampa de peralte se plantea una relación de triángulos semejantes a partir de la ilustración 36.

Ilustración 36. Peralte en un punto cualquiera p.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

De la relación de triángulos semejantes se tiene que:

$$\frac{e}{Lt} = \frac{ep}{Dp}$$

Por lo tanto:

$$ep = \frac{e * Dp}{Lt}$$

Donde:

ep= peralte en un punto p dentro de la rampa de peraltes.

Dp= Distancia desde el punto p al punto B para la primera rampa y al punto G para la segunda rampa.

Lt= Longitud de transición.

e= Peralte máximo de la rampa.

Con la anterior ecuación aplica para cualquier tipo de curva o método utilizado, se puede calcular el peralte en un punto cualquiera desde la abscisa A hasta la abscisa D y desde la abscisa E hasta la H.

Los valores e y L_t , son valores constantes para cualquier punto por tanto su relación (e/L_t) se denomina factor de peralte (F_p), por lo tanto:

$$F_p = \frac{e}{L_t}$$

Y

$$e_p = F_p * D_p$$

Finalmente se puede realizar el siguiente análisis:

- Entre el sector A – C el peralte para el borde interno permanece constante e igual al bombeo.
- En el mismo tramo, el borde externo varía desde $-b$ hasta $+b$ de forma lineal pasando por la abscisa B donde su valor es cero.
- Entre el tramo C – D el peralte varía de forma lineal entre b y e para el borde externo y entre $-b$ y $-e$ para el borde interno. Para una abscisa cualquiera el valor es igual para ambos bordes, pero con signo contrario.
- En el sector D – E el peralte es constante e igual al peralte máximo recomendado para la curva.
- Entre las abscisas E y H el peralte varía de manera inversa al tramo A – D, generando un diagrama simétrico con respecto a la parte central de la curva.

Cuando se construye una vía, la conformación de la banca y de la estructura del pavimento se realiza con los valores de cotas tanto del eje como de los bordes de la banca y del pavimento. Por esta razón se deben obtener las diferencias de altura entre el eje de la vía y sus bordes para una misma abscisa. Estas diferencias de abscisa se calculan con la distancia, que corresponde a la mitad de la calzada, y el

valor correspondiente del peralte. Este valor se suma o resta a la altura del eje obteniendo así el valor de la altura de los dos bordes.

9.11 EJERCICIOS RESUELTOS

A continuación, se ejemplifica el cálculo del peralte en una curva. Es bueno considerar que todos los diagramas de peralte presentados en este capítulo suponen el eje de la vía horizontal, lo que frecuentemente no ocurre. Esta suposición facilita el entendimiento de dichos diagramas, pero en la práctica, aunque también se dibujen así, es bueno considerar que el eje longitudinal no es horizontal.

Ejemplo 1.

Se tienen los siguientes datos de una curva circular simple derecha en una vía con calzada de 7.30 metros.

Radio = 120

Abscisa PC = 417.81

Abscisa PT = 465.32

Bombeo = 2.0%

Se requiere calcular la tabla de peralte para la curva desarrollando la transición toda por fuera de la curva.

Inicialmente se determina el peralte requerido para una curva con radio de 120 metros y la velocidad específica correspondiente a este radio. Para ello empleamos la ilustración 29 correspondiente a la gráfica Relación Peralte – Radio y Velocidad–Radio.

Entrando con un valor de 120m en las abscisas se sube verticalmente hasta cortar la curva Velocidad – Radio y luego sobre la margen derecha se obtiene la velocidad específica cuyo valor es de 60 Km/h. Si continuamos sobre la misma línea vertical hasta llegar al cruce con la curva Peralte – Radio se tiene que el peralte requerido es el máximo, o sea 8.0%. Se puede verificar en la gráfica que para radios menores de 170 metros el valor del peralte es 8.0%. Seguidamente, con el valor de la velocidad específica de 60 Km/h, y empleando la Tabla 16 se halla la pendiente máxima relativa de rampa cuyo valor es de 0.64%.

Remplazando en la ecuación:

$$L_t = e * \frac{a}{I} = \frac{8 * 3.65}{0.64} = 45.63[m]$$

Se toma el valor de 45[m] y calculamos el valor de N con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{2.0 * 45}{8} = 11.25[m]$$

Ahora se calculan los puntos del diagrama de peralte:

$$A = PC - L_t - N = 417.81 - 45 - 11.25 = 361.56$$

$$B = A + N = 361.56 + 11.25 = 372.81$$

$$C = B + N = 372.81 + 11.25 = 384.06$$

$$D = PC = 417.81$$

$$E = PT = 465.32$$

$$F = PT + L_t - N = 465.32 + 45 - 11.25 = 499.07$$

$$G = PT + L_t = 465.32 + 45 = 510.32$$

$$H = G + N = 510.32 + 11.25 = 521.57$$

Se tienen entonces los siguientes valores de peralte:

PUNTO	ABSCISA	PERALTE IZQUIERDO (%)	PERALTE DERECHO (%)
A	361.56	-2.00	-2.00
B	372.81	0.00	-2.00
C	384.06	+2.00	-2.00
D	417.81	+8.00	-8.00
E	465.32	+8.00	-8.00
F	499.07	+2.00	-2.00
G	510.32	0.00	-2.00
H	521.57	-2.00	-2.00

Ahora se calcula el factor de peralte:

$$F_p = \frac{e}{L_t} = \frac{8.0}{45.0} = 0.178$$

Significa entonces que por cada metro el peralte varía 1.78% y por cada 10 metros varía 1.78%.

Para hallar el peralte en la abscisa 370 se calcula la distancia hasta el punto B:

$$D_{370} = 370 - 372.81$$

Entonces el peralte para el carril izquierdo es:

$$e_{370} = \frac{-2.81 * 8.0}{45} = -0.50\%$$

Para el carril derecho continúa siendo -2.0%

De igual forma se calcula el peralte para la abscisa 380. En este caso se hará con el factor de peralte:

$$D_{380} = 380 - 372.81 = 7.19$$

$$e_{380} = 7.19 * 0.178 = 1.28\%$$

El peralte para el carril derecho continúa siendo -2.0%

Ya para la abscisa 390 el peralte izquierdo y derecho tienen el mismo valor, pero de signo contrario:

$$D_{390} = 390 - 372.81 = 17.19$$

$$e_{390} = 17.19 * 0.178 = 3.06\% \text{ peralte izquierdo}$$

$$e_{390} = 17.19 * 0.178 = 3.06\% \text{ peralte derecho}$$

De esta misma forma se continúa calculando el peralte hasta el punto D correspondiente al PC 417.81.

Se puede observar que si al peralte de la abscisa 370 le sumamos el valor de 1.78, correspondiente al cambio de peralte cada 10 metros, obtenemos el peralte de la abscisa 380:

$$e_{380} = -0.50\% + 1.78\% = 1.28\%$$

Para la abscisa 390 obtenemos también el peralte sumando 1.78 al peralte de la abscisa 380:

$$e_{390} = 1.28\% + 1.78\% = 3.06\%$$

Podemos entonces calcular el peralte de las abscisas 400 y 410 de la misma forma y obtenemos para estas:

$$e_{400} = 3.06\% + 1.78\% = 4.84\%$$

$$e_{410} = 4.84\% + 1.78\% = 6.62\%$$

Las abscisas 420, 430, 440, 450 y 460 se encuentran dentro de la curva circular y por lo tanto el valor de sus peraltes es de 8.0% para la izquierda y -8.0% para la derecha.

El peralte correspondiente a la rampa de salida se calcula de forma análoga, pero tomando la distancia a partir de la abscisa 510.32 (punto G), por lo tanto, el peralte para la abscisa 470 es:

$$D_{470} = 510.32 - 470 = 40.32$$

$$e_{470} = \frac{40.32 * 8.0}{45} = 7.17\%$$

También se pueden calcular con el factor de peralte, como se hará en la abscisa 480:

$$D_{480} = 510.32 - 480 = 30.32$$

$$e_{480} = 30.32 * 0.178 = 5.40\%$$

O restando, en este caso, el factor para cada 10 metros como en las abscisas 490, 500, 510 y 520:

$$e_{490} = 5.40\% - 1.78\% = 3.62\%$$

$$e_{500} = 3.62\% - 1.78\% = 1.84\%$$

$$e_{510} = 1.84\% - 1.78\% = 0.06\%$$

$$e_{520} = 0.06\% - 1.78\% = -1.72\%$$

Los peraltes calculados corresponden al carril izquierdo, mientras que para el carril derecho su valor es igual, pero de signo contrario solo hasta donde el peralte sea mayor del 2.0%, o sea la 470, 480 y 490. El peralte derecho para las abscisas 500, 510 y 520 es de -2.0% .

Para calcular la diferencia de altura de los bordes de la calzada con respecto al eje de esta se multiplica el peralte correspondiente por 3.65 y se divide por 100.

Por ejemplo, para la abscisa 370 con peralte derecho igual a -2.0% e izquierdo de -0.50% se tiene que:

$$dh_{390} = \frac{-3.06 * 3.65}{100} = -0.112 \text{ Borde derecho}$$

$$dh_{390} = \frac{3.06 * 3.65}{100} = 0.112 \text{ Borde izquierdo}$$

Para las abscisas ubicadas dentro de la curva circular se tiene que:

$$dh = \frac{-8.00 * 3.65}{100} = -0.292 \text{ Borde derecho}$$

$$dh = \frac{8.00 * 3.65}{100} = 0.292 \text{ Borde izquierdo}$$

Puede haber algunas pequeñas diferencias de acuerdo como se realice el cálculo, por ejemplo, en las abscisas 400 y 410 que fueron calculadas con el factor de peralte, el cual se aproximó a 3 cifras decimales, mientras que en la tabla que se presenta al final se calcularon con todas las cifras decimales del factor de peralte.

A continuación, se tiene la tabla completa del cálculo de peralte de toda la curva:

PUNTO	ABSCISA	PERALTE (%)		SOBREELEVACIÓN (m)	
		IZQ.	DER.	IZQ.	DER.
A	361.56	-2.00	-2.00	-0.073	-0.073
	370.00	-0.50	-2.00	-0.018	-0.073
B	372.81	0.00	-2.00	0.000	-0.073
	380.00	1.28	-2.00	0.047	-0.073
C	384.06	2.00	-2.00	0.073	-0.073
	390.00	3.06	-3.06	0.112	-0.112
D=PC	400.00	4.83	-4.83	0.176	-0.176
	410.00	6.61	-6.61	0.241	-0.241
	417.81	8.00	-8.00	0.292	-0.292
E=PT	420.00	8.00	-8.00	0.292	-0.292
	430.00	8.00	-8.00	0.292	-0.292
	440.00	8.00	-8.00	0.292	-0.292
	450.00	8.00	-8.00	0.292	-0.292
	460.00	8.00	-8.00	0.292	-0.292
F	465.32	8.00	-8.00	0.292	-0.292
	470.00	7.17	-7.17	0.262	-0.262
	480.00	5.39	-5.39	0.197	-0.197
	490.00	3.61	-3.61	0.132	-0.132
G	499.07	2.00	-2.00	0.073	-0.073
	500.00	1.83	-2.00	0.067	-0.073
	510.00	0.06	-2.00	0.002	-0.073
H	510.32	0.00	-2.00	0.000	-0.073
	520.00	-1.72	-2.00	-0.063	-0.073
	521.57	-2.00	-2.00	-0.073	-0.073

9.12 ENTRETANGENCIA

Se entiende por entretangencia a el tramo recto entre dos curvas horizontales adyacentes, es decir, la distancia entre el PT de una curva y el PC de la siguiente.

9.12.1 Longitud mínima. Esta longitud mínima puede variar de acuerdo al tipo de curva horizontal utilizado, el sentido de las curvas adyacentes y el tipo de terreno. Se tienen entonces las siguientes consideraciones:

Curvas de diferente sentido:

- Con curvas de transición (espirales): No se requiere entretangencia
- Curvas circulares: Debe cumplir la mayor de las dos siguientes condiciones:
 - 1) La longitud necesaria para desarrollar la transición del peralte de las dos curvas.
 - 2) La distancia recorrida a la velocidad de diseño durante un tiempo de 5 segundos
- Entre dos curvas circulares de diferente sentido:

Entretangencia = $Lt_1 + Lt_2 + n_1 + n_2$ para Lt por fuera de la curva.

Entretangencia = $2Lt_1/3 + 2Lt_2/3 + n_1 + n_2$ para $Lt/3$ dentro de la curva

Curvas del mismo sentido:

- Con curvas de transición: La distancia recorrida a la velocidad de diseño durante un tiempo de 5 segundos
- Curvas circulares: Para terreno montañoso, ondulado y escarpado la distancia recorrida a la velocidad de diseño durante un tiempo de 5 segundos. Para

terreno plano la distancia recorrida a la velocidad de diseño durante un tiempo de 15 segundos.

9.12.2 Longitud Máxima. Se deben evitar alineamientos rectos demasiado largos, especialmente en zonas de altas temperaturas, ya que pueden causar somnolencia en los conductores, Por lo anterior es preferible reemplazar los alineamientos rectos (superiores a 1.5 Km), por curvas amplias de grandes radios que obliguen al conductor a modificar suavemente su dirección y mantener despierta su atención.

9.13 PERALTE FORZADO

Para determinar si entre dos curvas se requiere peralte forzado, sin efectuar el cálculo por separado de cada una de ellas, se debe verificar que:

$$e_f > n_1 + n_2$$

Curva con espirales de transición

$$e_f > L_{t1} + L_{t2} + n_1 + n_2$$

Curva circular con transición en la tangente

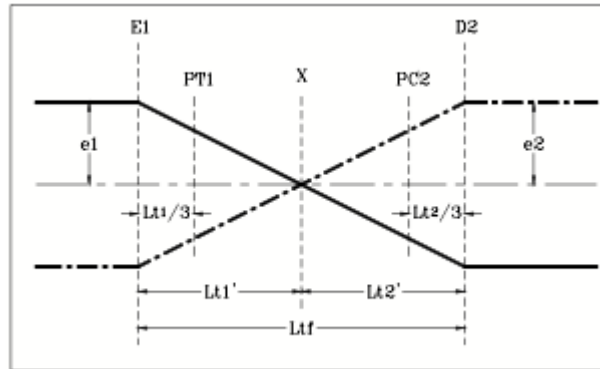
$$e_f > 2L_{t1}/3 + 2L_{t2}/3 + n_1 + n_2$$

Curva circular con $L_t/3$ en la curva

Los análisis que se harán a continuación comprenden básicamente las curvas circulares simples ya que las curvas espiralizadas no presentan mayores complicaciones.

9.13.1 Curvas de diferente sentido

Ilustración 37. Peralte forzado curvas de diferente sentido



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

A continuación, se describe la metodología para el cálculo del peralte forzado entre dos curvas de diferente sentido luego de calcular los valores de Lt_1 , Lt_2 , n_1 y n_2 y verificar que se requiere peralte forzado. El análisis se presenta para los dos casos, cuando se realiza la transición por fuera de la curva y cuando se localiza $1/3$ de Lt dentro de esta.

1) Hallar el punto x donde el peralte se hace cero

- Si los peraltes son iguales:

$$Lt_1 = Lt_2 = \frac{Lt_f}{2}$$

- Si los peraltes son diferentes:

$$Lt_1 = \frac{e_1 \cdot Lt_f}{(e_1 + e_2)}$$

Se obtiene que

$$X = E_1 + Lt_1$$

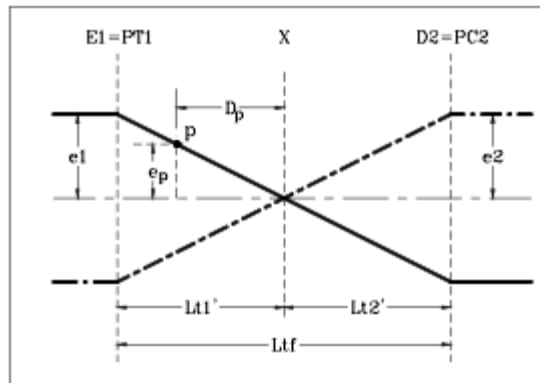
2) Se calcula el factor de peralte forzado (Fpf)

$$Fpf = \frac{e1 + e2}{Ltf}$$

Este factor representa el cambio de peralte desde el punto E1 hasta el punto D2.

3) Para cada abscisa se calcula su correspondiente peralte

Ilustración 38. Abscisado Peralte forzado curvas de diferente sentido



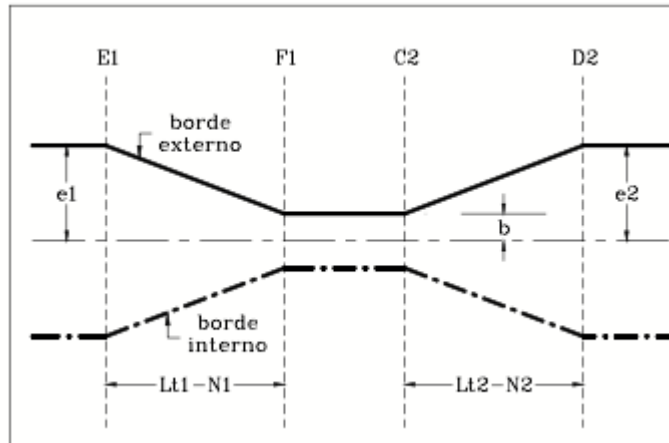
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

$$ep = \frac{Dp(e1 + e2)}{Ltf}$$

Donde Dp es la distancia de la abscisa del punto p al punto X.

9.13.2 Curvas del mismo sentido El procedimiento de cálculo de peralte forzado para curvas del mismo sentido podría decirse no requiere ningún cálculo ya que solo bastaría identificar la abscisa donde el peralte de la primera curva, en su rampa de salida, y de la segunda curva, en su rampa de entrada, presenta un valor de +2.0% y -2.0%.

Ilustración 39. Peralte forzado en curvas de igual sentido



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

El tramo comprendido entre estas dos abscisas, F1 y C2, presentaría un peralte constante e igual a -2.0% y $+2.0\%$ o $+2.0\%$ y -2.0% , dependiendo del sentido de las curvas. Lo que se hace es evitar que el borde externo baje hasta el bombeo normal (-2.0%) teniendo en cuenta que rápidamente deberá subir de nuevo. Esta solución no ofrece ningún problema ni de incomodidad o inseguridad ya que se está garantizando en este tramo, que es recto, el valor del bombeo, aunque en una sola dirección.

10. VISIBILIDAD EN CARRETERAS

Se entiende por distancia de visibilidad el tramo de carretera que el conductor puede percibir hacia delante al transitar por esta. En el diseño vial existen diferentes tipos de distancia de visibilidad dependiendo del tipo de vía que se esté trabajando. Las distancias de visibilidad a tratar serán las de parada y la de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de parada se debe garantizar a lo largo de toda la vía y en ambas direcciones mientras que la distancia de visibilidad de adelantamiento se recomienda garantizarla al menos en un porcentaje del recorrido total de la vía de acuerdo a la velocidad e importancia de esta.

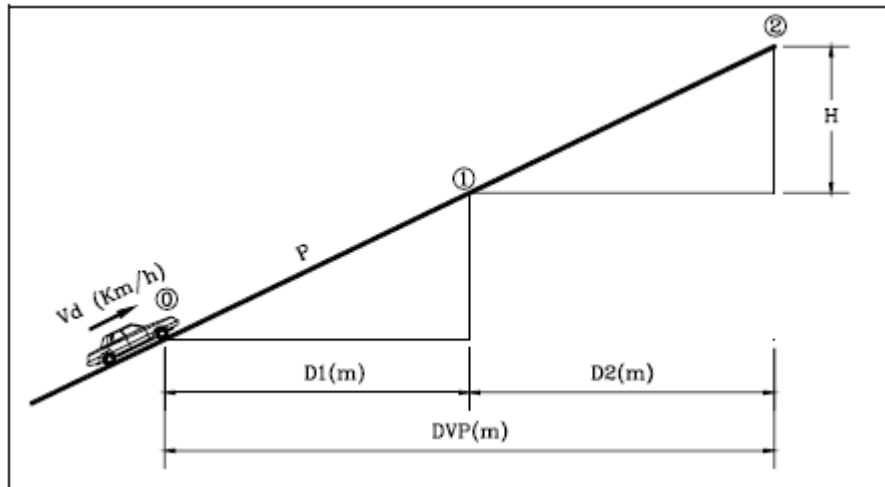
La visibilidad apropiada en una carretera es un elemento de vital importancia tanto para la seguridad de los usuarios como para la capacidad de esta por lo tanto se hace necesario estimar las distancias requeridas, que dependen básicamente de la velocidad de diseño, y evaluar las obtenidas, luego de realizado el diseño geométrico, con el fin de tomar las medidas de control necesarias en caso que las obtenidas sean menores que las requeridas.

10.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Se define como distancia de parada (D_p) la distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción y el de frenado. Para llevar a cabo el análisis de la distancia requerida para visibilidad de parada consideremos la figura 37 donde un vehículo se desplaza a una velocidad de diseño

Vd, expresada en kilómetros por hora, sobre una vía con una pendiente longitudinal P expresada en decimales.

Ilustración 40..Distancia de visibilidad de parada.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

La longitud de vía que recorre un vehículo durante toda la maniobra de parada está compuesta por dos distancias que llamaremos $D1$ y $D2$.

$D1$ = Distancia recorrida durante la maniobra de percepción - reacción.

Cuando un conductor observa un obstáculo sobre la vía, analiza si este puede poner en riesgo su seguridad o la del vehículo, luego toma la decisión de frenar y por último lleva su pie al pedal del freno. Todo este proceso es lo que se denomina tiempo de percepción – reacción.

El tiempo de percepción y reacción es el tiempo preciso para divisar un objeto en la calzada y reaccionar aplicando los frenos oscila entre 0,5 y 1 segundo, dependiendo de las características del conductor, condiciones meteorológicas, características del objeto, etc. Sin embargo, en la práctica y, a efectos de cálculo

de la distancia de parada, se consideran normalmente valores superiores. Así, la AASTHO fija este tiempo en 1,5 segundos para el tiempo de percepción y 1 segundo para el de reacción. En Colombia se ha adoptado un valor total de 2.0 segundos.

Partiendo de la ecuación Distancia = Velocidad x tiempo; se tiene entonces:

$$D1 = Vd * 2.0 \text{ segundos (Colombia)}$$

$$D1 = Vd * 2.5 \text{ segundos (Otros países)}$$

Podría decirse que debido al estado de nuestras carreteras y al comportamiento de los conductores colombianos, estos deben de estar más atentos o alerta a cualquier eventualidad, de allí quizá el menor tiempo de percepción – reacción.

Como Vd se expresa en Km/h se debe dividir por 3.6 para que la respuesta se obtenga en metros, por lo tanto:

$$D1 = 0.556 * Vd \text{ (Colombia)}$$

$$D1 = 0.694 * Vd \text{ (Otros países)}$$

D2 = Distancia recorrida por el vehículo desde el momento en que se aplican los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente.

Cuando el conductor aplica los frenos el vehículo se encuentra en la posición 1 y cuando se detiene está en la posición 2 recorriendo la distancia D2 con un movimiento uniformemente desacelerado, con una velocidad inicial Vd y una velocidad final igual a cero.

Por otro lado, el cálculo de la distancia de frenado será una aplicación inmediata del teorema de la conservación de la energía: igualando la energía cinética inicial

a la energía de rozamiento disipada durante el frenado se puede deducir la distancia de frenado. Así resultará:

$$D2 = \frac{Vd^2}{254(fl \pm P)}$$

Que es la expresión para calcular la distancia de frenado de un vehículo que transita a una Velocidad de Diseño Vd , expresada en Km/h y sobre una superficie con una inclinación P expresada en decimales y un coeficiente de fricción longitudinal determinado.

Cabe anotar que el INVIAS. no considera el valor de la pendiente cuando esta es inferior al 3.0%, es decir que la asume como 0.0%.

Finalmente se tiene que la distancia de visibilidad de parada para el caso colombiano es:

$$DVP = 0.556Vd + \frac{Vd^2}{254(fl \pm P)}$$

El coeficiente de fricción longitudinal, que en realidad depende de muchos factores entre los cuales se tienen el estado y tipo de pavimento, el estado y presión de inflado de las llantas, se ha definido experimentalmente solo a partir de la velocidad y para pavimentos húmedos que es el caso más desfavorable. Se tiene entonces a continuación una tabla con los valores de fl a partir de la velocidad de diseño.

Tabla 18. Coeficiente de fricción longitudinal (fl)

COEFICIENTES DE FRICCIÓN LONGITUDINAL PARA PAVIMENTOS HUMEDOS										
Velocidad de diseño (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de fricción longitudinal (fl)	0.44	0.40	0.37	0.35	0.33	0.32	0.315	0.31	0.305	0.30

Fuente: INVIAS Manual de diseño geométrico de vías

Con los anteriores valores y un tiempo de percepción – reacción se puede elaborar una tabla de distancias de visibilidad de parada para diferentes velocidades de diseño y sobre una vía plana ($p=0\%$).

Tabla 19. Distancia de visibilidad de parada.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA PARA TRAMOS A NIVEL SOBRE PAVIMENTOS HUMEDOS					
Velocidad de diseño (Km/h)	D1 (m)	fl	D2 (m)	Distancia total	
				Calculada	Redondeada
30	16.67	0.440	8.05	24.72	25
40	22.22	0.400	15.75	37.97	40
50	27.78	0.370	26.60	54.38	55
60	33.33	0.350	40.49	73.83	75
70	38.89	0.330	58.46	97.35	95
80	44.44	0.320	78.74	123.18	125
90	50.00	0.315	101.24	151.24	150
100	55.56	0.310	127.00	182.56	180
110	61.11	0.305	156.19	217.30	215
120	66.67	0.300	188.98	255.64	255

Fuente: INVIAS Manual de diseño geométrico de vías

10.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

La distancia de adelantamiento (D_a) es la necesaria para que un vehículo pueda adelantar a otro o a varios de ellos que marchen por su misma vía a menor velocidad, en presencia de un tercero que circula por sentido opuesto sin peligro de colisión y sin obligar a disminuir la velocidad a este último.

La distancia de adelantamiento es muy superior a la de parada (cerca de tres veces para carreteras de 2 carriles y doble sentido de circulación). Por ello, puede resultar difícil y costoso conseguir la visibilidad de adelantamiento a lo largo de todo el trazado, especialmente en terreno montañoso.

La distancia necesaria para el adelantamiento depende de múltiples factores tales como: velocidad de los vehículos que intervienen en la maniobra, pericia de los conductores, condiciones meteorológicas, etc.

Se tienen entonces para el análisis que se hará a continuación las siguientes consideraciones:

- Que el vehículo que va a ser adelantado marcha a velocidad uniforme.
- Que el vehículo que va a realizar la maniobra de adelantamiento se ve obligado a circular a la misma velocidad que el vehículo que va delante de él hasta llegar al tramo con la necesaria visibilidad de adelantamiento.
- Que, al llegar a dicha zona, el conductor del vehículo que va a adelantar, debe disponer del tiempo necesario para percatarse de que no viene ningún vehículo en dirección contraria.
- Que la maniobra de adelantamiento se realiza acelerando durante toda ella.

- Que, al iniciarse la maniobra de adelantamiento, aparece un vehículo en sentido opuesto, a la velocidad de proyecto del tramo, vehículo que llega a la altura del que ha efectuado el adelantamiento en instante en que éste termina su maniobra.

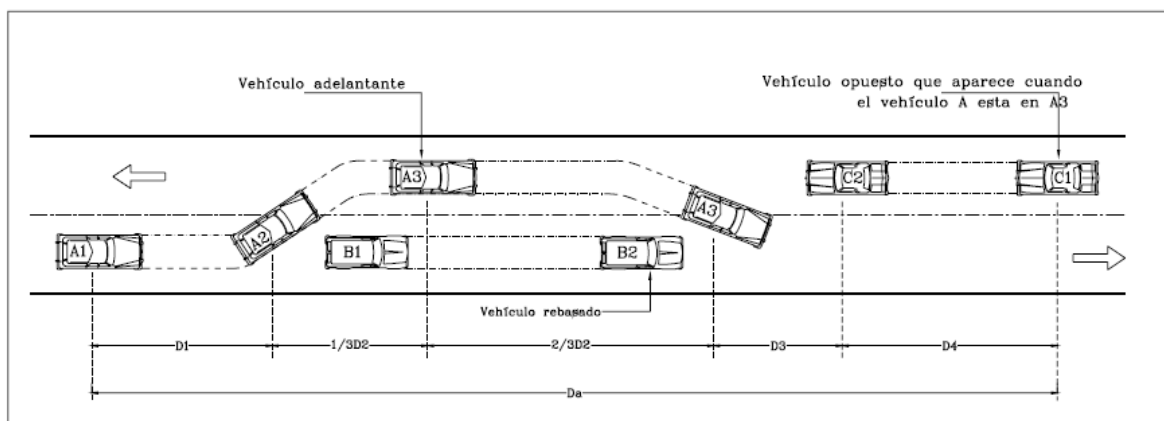
La distancia de visibilidad necesaria para realizar la maniobra de adelantamiento está compuesta por cuatro distancias que se indican en la Figura 38.

$$DVA = D1 + D2 + D3 + D4$$

El vehículo A corresponde al vehículo que realiza la maniobra de adelantamiento, el vehículo B el que va a ser adelantado mientras que el vehículo C el que viene en sentido contrario.

Se analizará de forma conjunta el caso colombiano y uno internacional, más concretamente el considerado por la AASHTO.

Ilustración 41. Distancia de adelantamiento en carreteras de dos carriles, dos sentidos.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

D1: Corresponde a la distancia recorrida durante el tiempo de percepción – reacción. Este tiempo es el que transcurre desde el momento en que el conductor de acuerdo a la visibilidad existente considera la posibilidad de adelantar, observa hacia adelante y toma la decisión de hacerlo.

Para el caso colombiano se considera un tiempo de percepción – reacción de 2.0 segundos que, multiplicado por una velocidad uniforme, la velocidad de diseño en kilómetros por hora, se obtendría la distancia D1 o sea:

$$D1 = \frac{2.0 * Vd}{3.6} = 0.556 Vd$$

El valor de V corresponde a la diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado quedando entonces:

$$D1 = 0.278 * t1 \left(v - m + \frac{a * t1}{2} \right)$$

Donde:

t1= tiempo de percepción-reacción. [Seg]

v= velocidad del vehículo que adelanta. [Km/h]

m= velocidad del vehículo que es adelantado. [Km/h]

a= aceleración promedio. [Km/h/seg]

Los valores de t1 y a dependen de las velocidades de operación y se presentan en una tabla más adelante.

D2: Se trata de la distancia recorrida por el vehículo desde que deja su carril hasta que regresa a este luego de adelantar el vehículo. Esta distancia se ha dividido a su vez en dos. El primer equivalente a 1/3 corresponde a la distancia recorrida hasta

que el vehículo cambia al carril contrario y la segunda igual a los 2/3 restantes la correspondiente a la distancia recorrida desde que invade el carril contrario hasta que regresa a su carril.

El manual colombiano estima este tiempo en 8.5 segundos mientras que el norteamericano lo estima entre 9.3 y 11.3 segundos dependiendo de la velocidad promedio. Por lo tanto, se tiene que:

$$D2 = 2.36 Vd \text{ (Colombia)}$$

$$D2 = 0.278 * t2 * V \text{ (AASHTO)}$$

Con velocidad en Km/h y t2 en segundos.

D3: Se considera como una distancia de seguridad. En Colombia se estima en la recorrida durante 2.0 segundos a la velocidad de diseño mientras que en los Estados Unidos estiman su valor dependiendo de grupos de velocidades y su valor promedio variando entre 30 y 90 metros.

$$D3 = 2.0 * \frac{Vd}{3.6} = 0.556 Vd \text{ (Colombia)}$$

D4: Es la distancia recorrida por el vehículo que se desplaza en sentido contrario y se estima que es igual a 2/3 de D2. Se debe tener en cuenta que si un conductor que intenta adelantar y antes de que cambie completamente de carril aparece un vehículo en sentido contrario, lo más normal sería que desistiera de adelantar.

Si por el contrario el vehículo se encuentra completamente sobre el carril opuesto y enfrenteado al vehículo que está adelantando, en este caso lo usual debe ser que complete su maniobra de adelantamiento. Por esta razón se toma D4 como 2/3 de

D2 ya que las dos velocidades son iguales y emplean el mismo tiempo. Se tiene entonces que para Colombia esta distancia es la recorrida durante 2/3 de 8.5 segundos a la velocidad de diseño.

Finalmente sumando las cuatro distancias para el caso colombiano tenemos que:

$$DVA = 0.556 Vd + 2.36 Vd$$

$$DVA = 5.0 * Vd$$

Lo anterior significa que para calcular la distancia de visibilidad de adelantamiento requerida en una vía solo basta con multiplicar la velocidad de diseño por 5.0. Se tiene entonces la siguiente tabla para diferentes velocidades:

Cabe anotar que en la siguiente tabla la velocidad mayor es de 100 Km/h, esto obedece a que en una vía de doble sentido nunca se debe conducir a velocidades mayores

Tabla 20. Distancia mínima de adelantamiento.

DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO	
CARRETERA DE DOS CARRILES DOS SENTIDOS	
Velocidad de diseño (Km/h)	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento (m)
30	150
40	200
50	250
60	300
70	350
80	400
90	450
100	500

Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

A continuación, se tiene la Tabla 20 correspondiente a los valores para las cuatro distancias que componen la distancia de visibilidad de adelantamiento de acuerdo a la AASHTO y que dependen de varios elementos allí consignados. En dicha tabla se presentan cuatro grupos de velocidades y su correspondiente velocidad promedio.

La AASHTO presenta además la Tabla 22 creada a partir de la anterior donde consigna valores mínimos de distancia de visibilidad de adelantamiento en función de la velocidad de diseño.

Tabla 21. Distancia de visibilidad de adelantamiento según AASHTO.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (AASHTO)				
Grupos de Velocidad (Km/h)	50-65	66-80	81-95	96-110
Velocidad Promedio (Km/h)	56.0	70.0	85.0	100.0
Percepción – Reacción				
A (Km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
t ₁ (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
D1	45	65	90	110
Ocupación de carril opuesto				
t ₂ (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
D2	145	195	250	315
Distancia de Seguridad				
D3	30	55	75	75
Vehículo Opuesto				
D4	95	130	165	210
DVA	315	445	580	710

Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Tabla 22. Distancia mínima de visibilidad de adelantamiento según AASHTO.

Velocidad De Diseño (Km/h)	Velocidades Asumidas (Km/h)		Mínima DVA (m)
	Vehículo Rebasado	Vehículo que adelanta	
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Se puede observar que las distancias obtenidas según el manual colombiano son mucho menores que las obtenidas según las AASHTO.

En una vía, principalmente de terreno montañoso, se hace difícil garantizar una distancia de visibilidad de adelantamiento de forma permanente. No obstante, es conveniente que de acuerdo a la importancia de la vía y a su velocidad de diseño se tenga cierto porcentaje de la totalidad de la longitud en la cual se pueda adelantar con seguridad.

El INVIAS. recomienda un porcentaje por tramos de 5 kilómetros. Este porcentaje no necesariamente es un solo tramo, pueden ser diferentes subtramos que sumen el porcentaje recomendado cada 5 kilómetros de la vía (Tabla 23).

Tabla 23. Oportunidad de adelantar por tramos de 5 km.

OPORTUNIDAD DE ADELANTAR POR TRAMOS DE 5 KILOMETROS			
Velocidad de diseño (Km/h)	30-50	60-80	90-100
Longitud mínima con Distancia de visibilidad de adelantamiento (%)	20%	30%	40%

Fuente: INVIAS Manual de diseño geométrico de vías

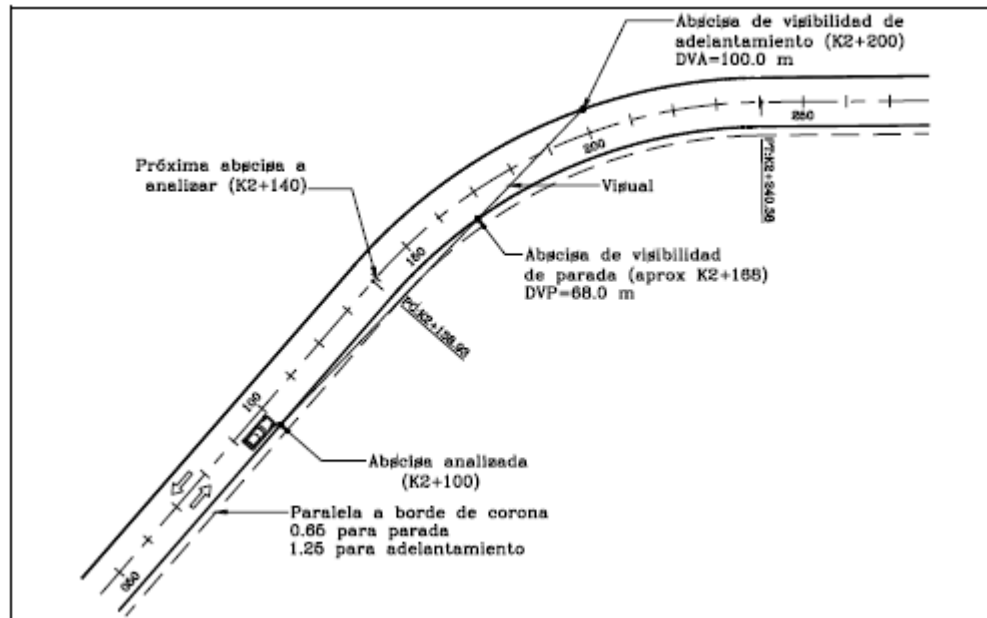
10.3 EVALUACION DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Luego de realizado el diseño geométrico de una vía se hace indispensable evaluar a lo largo de todo su recorrido la distancia de visibilidad de parada y la de adelantamiento y de esta forma llevar a cabo el diseño de señalización tanto vertical como de líneas de pavimentos con el fin de garantizar la seguridad de los usuarios.

A continuación, se presenta la metodología para evaluar ambas distancias de visibilidad a partir de los planos de diseño tanto para la parte horizontal como para la vertical. Este análisis se realiza cada 40 metros a lo largo del eje de la vía y en ambas direcciones. Se debe tener en cuenta que las distancias de visibilidad se cumplen en un punto cualquiera de la vía cuando a su vez cumple para ambos análisis, el horizontal y el vertical.

10.3.1 Distancia de visibilidad en planta. En los planos deben aparecer todos los elementos que puedan limitar la visibilidad, como se ve en la figura 39 como por ejemplo construcciones, vallas, vegetación, etc. Si la restricción obedece solo al talud de corte entonces para el análisis de la visibilidad de parada se considera una línea paralela al borde de corona a 0.65 m y a 1.25 para la distancia de visibilidad de parada.

Ilustración 42. Análisis de visibilidad en planta.

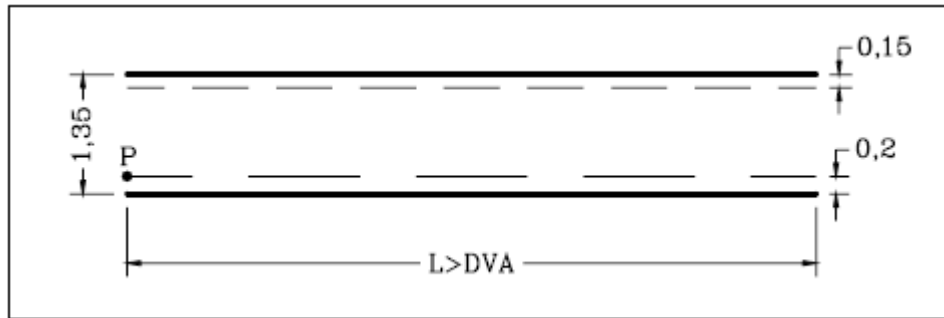


Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

A partir del borde de corona en la abscisa considerada, en este caso K2+100, se traza una visual tangente a la paralela correspondiente, 0.65 o 1.25. Donde dicha visual corte el mismo borde, en este caso el derecho, corresponde al punto límite para la distancia de visibilidad de parada, K2+168 aproximadamente y en el punto donde la misma visual corte el borde opuesto se tiene el punto límite para la distancia de visibilidad de adelantamiento.

10.3.2 Distancia de visibilidad en alzada. Para este análisis se debe crear una plantilla transparente con las siguientes características y dimensiones en las escalas consideradas en los planos:

Ilustración 43. Plantilla para análisis de visibilidad alzada.

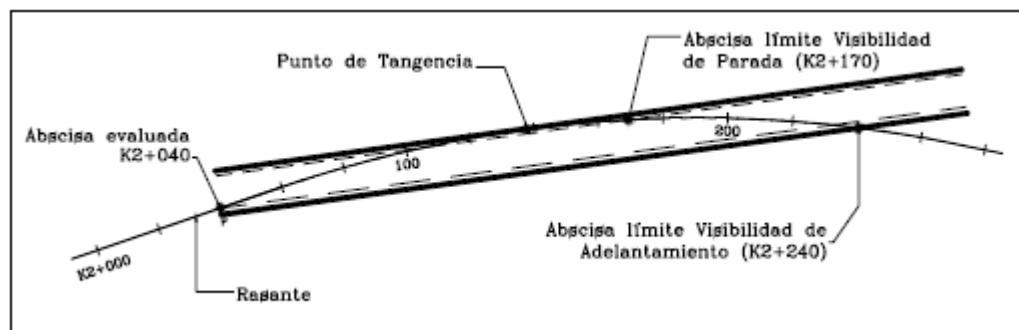


Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Esta plantilla se debe ubicar a partir del punto P sobre la rasante diseñada. La línea superior debe ubicarse de forma tangencial a la rasante de modo que el punto donde la línea a 0,15 m del borde superior corte la rasante en segunda instancia corresponde a la distancia de visibilidad de parada, mientras que el punto donde el borde inferior corte la rasante, también en segunda instancia, corresponderá a la distancia de visibilidad de adelantamiento.

En la ilustración 45 se puede observar cómo se realiza la evaluación descrita.

Ilustración 44. Análisis de visibilidad alzada.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

De acuerdo a las normas colombianas el valor obtenido para la visibilidad de parada permite hasta una velocidad de 80 Km/h, mientras que la visibilidad de adelantamiento cumple para una velocidad de 40.0 Km/h.

Si la distancia de visibilidad de parada no cumple se tienen dos posibles soluciones; la primera aumentar la longitud de la curva vertical y la segunda restringir la velocidad con la señal reglamentaria SR-30. Cabe anotar que, si el diseño vertical se realiza calculando la longitud de la curva vertical a partir del Factor K , que depende del tipo de curva y de la velocidad de diseño, no se deben presentar problemas con la visibilidad de parada. El Factor K , que se estudiará más adelante, garantiza la suficiente visibilidad de parada para una velocidad de diseño dada.

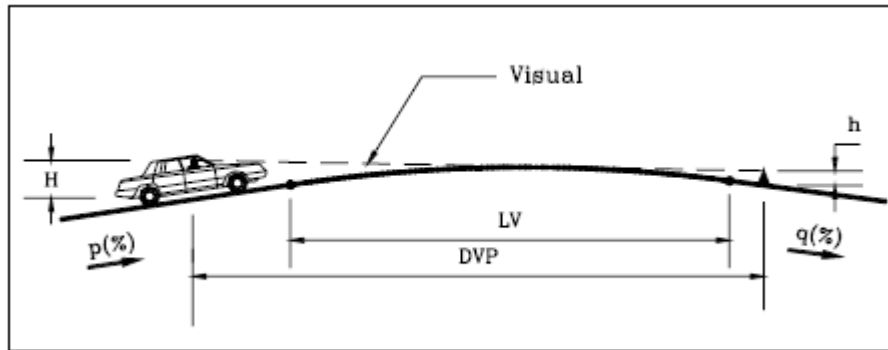
10.4 VISIBILIDAD EN CURVAS VERTICALES

Las longitudes mínimas de las curvas verticales, convexas y cóncavas, además de ser suficientes para producir la variación gradual de la pendiente desde su tangente de entrada hasta su tangente de salida sin que se generen cambios bruscos en la curvatura, deberán satisfacer los requisitos de visibilidad de parada. Este requisito es conocido como el criterio de seguridad. Generalmente, las longitudes mínimas de las curvas que satisfacen la seguridad, también cumplen confortabilidad y apariencia.

10.4.1 Curva vertical convexa. Se presentan dos casos, según que la distancia de visibilidad de parada D_p sea mayor o menor que la longitud de la curva L_v .

Caso 1. Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical. Para este caso se tiene la ilustración 45, donde aparecen los siguientes elementos:

Ilustración 45. Visibilidad en curva vertical convexa con $Dvp > Lv$



Fuente: Agudelo John Jairo Diseño geométrico de vías

L_v = Longitud curva vertical en metros

DVP = Distancia de visibilidad de parada requerida en metros

p = Pendiente inicial en porcentaje

q = Pendiente final en porcentaje

A = Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje

H = Altura del ojo del conductor = 1.15 m

h = Altura del obstáculo = 0.15 m

La altura más crítica del ojo del conductor corresponde a vehículos muy bajos, donde el INVIAS. asume 1.15 m. mientras que la AASHTO 1.07 m. Por su parte para la altura del obstáculo se ha tomado un valor de 0.15 siendo este también un valor crítico ya que si es de mayor tamaño es más fácil de observar y si es de un tamaño menor ya no representa peligro para el conductor o su vehículo.

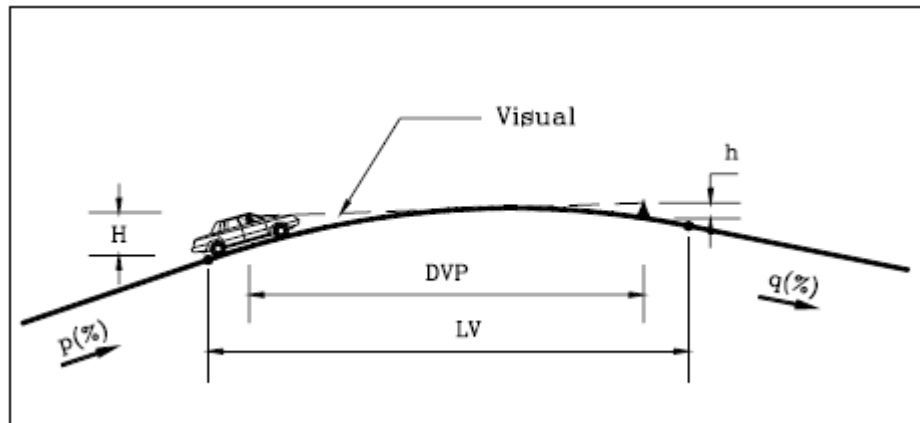
Reemplazando los valores de H y h se obtiene que:

$$L_v = 2DVP - \frac{425}{A}; \text{ Colombia}$$

$$L_v = 2DVP - \frac{404}{A}; \text{ AASHTO}$$

Caso 2. Distancia de Visibilidad de parada < Longitud Vertical. Consideremos la ilustración 46 con los mismos elementos que el caso anterior:

Ilustración 46. Visibilidad en curva vertical convexa con $Dvp < L_v$.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Reemplazando los correspondientes valores se tiene:

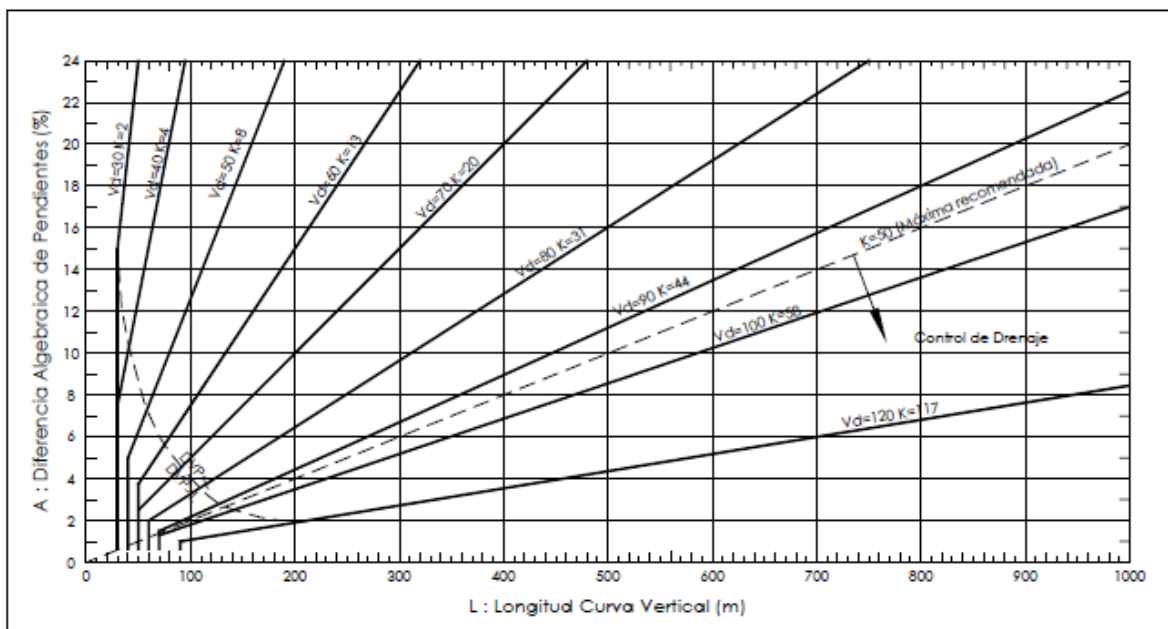
$$L_v = \frac{A(Dvp)^2}{425}; \text{ Colombia}$$

$$L_v = \frac{A(Dvp)^2}{404}; \text{ AASHTO}$$

Ahora analizando las expresiones en ambos casos para Colombia, se tiene que para valores pequeños de A y DVP la longitud es negativa mientras que para la segunda siempre serán positivos y si además se realiza una tabla de valores de L_v para las diferentes velocidades y diferentes valores de A los resultados obtenidos con la segunda expresión siempre serán mayores. Con lo anterior se puede concluir que la expresión para $DVP < L$ es la que se debe emplear.

La ilustración 47 permite hallar la longitud mínima de curva vertical convexa, de modo que se cumpla la distancia de visibilidad de parada, teniendo la velocidad de diseño, en Km/h, y la diferencia algebraica de pendientes, expresada en porcentaje. Se tiene además una longitud mínima para cada velocidad de diseño, esto teniendo en cuenta aspectos más bien estéticos y de comodidad ya que para valores de A pequeños la longitud obtenida a partir de las fórmulas sería también muy pequeña.

Ilustración 47. Longitud de curva vertical convexa.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

10.4.2 Curva vertical cóncava. En términos generales, las curvas verticales cóncavas, por su forma, son de visibilidad completa durante el día, más no así durante la noche. En este sentido, la longitud de carretera iluminada hacia adelante por la luz de los faros delanteros del vehículo deberá ser al menos igual a la distancia de visibilidad de parada. Esta longitud llamada visibilidad nocturna, depende de la altura de las luces delanteras sobre el pavimento, asumida como 0.60 metros, y del ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba o respecto al eje longitudinal del vehículo.

Caso 1. Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical.

Se tiene la ilustración 48 donde aparecen los siguientes elementos:

L_v = Longitud curva vertical en metros

DVP = Distancia de visibilidad de parada requerida en metros

p = Pendiente inicial en porcentaje

q = Pendiente final en porcentaje

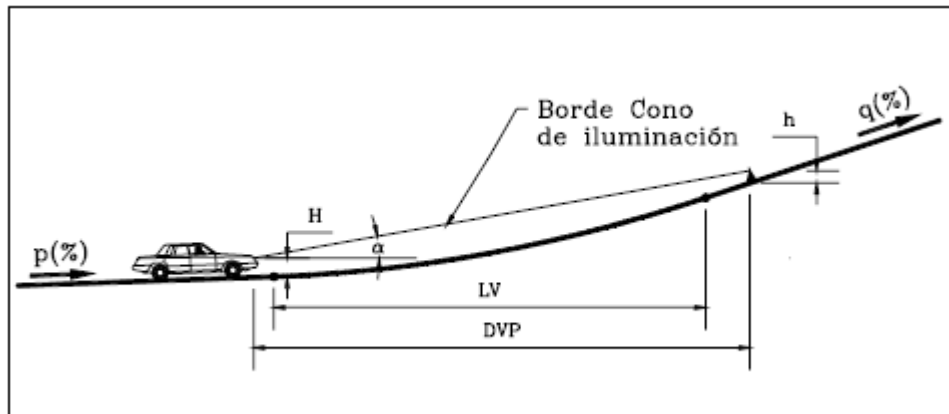
A = Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje

H = Altura de las luces delanteras del vehículo = 0.60 m

h = Altura del obstáculo = 0.15 m

α = Angulo formado por el borde del cono de iluminación y el eje prolongado del faro = 1°

Ilustración 48. Visibilidad en curva vertical cóncava con $Dvp > L_v$



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

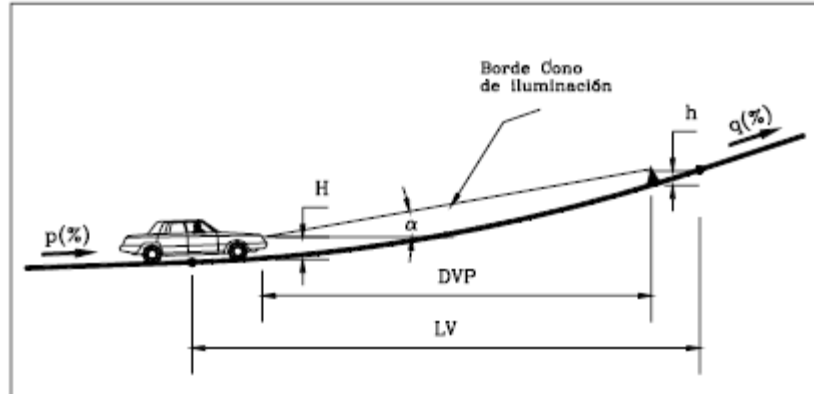
Todos los valores asumidos son iguales para el manual del INVIAS. y el de la AASHTO, obteniéndose la siguiente expresión para la longitud mínima:

$$L_v = 2DVP - \frac{120 + 3.5DVP}{A}$$

Caso 2. Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical.

Los elementos son los mismos y el análisis similar a partir de la ilustración 49. La expresión obtenida para la longitud vertical es la siguiente:

Ilustración 49. Visibilidad en curva vertical cóncava $DVP < L_v$



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

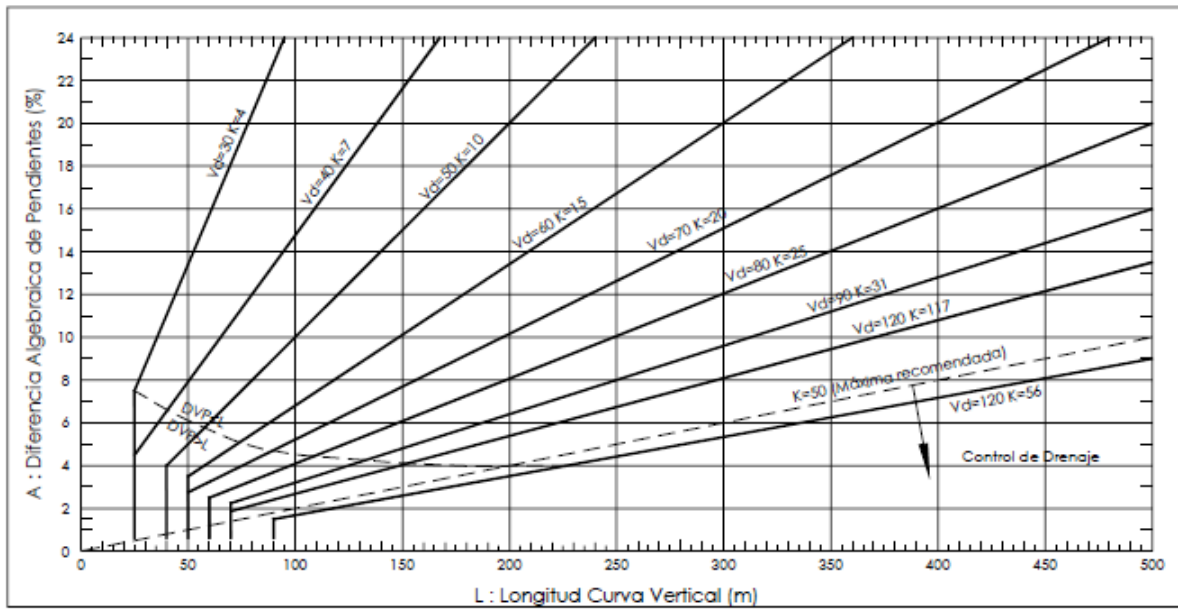
$$L_v = \frac{A(DVP)^2}{120 + 3.5DVP}$$

Al igual que en las curvas convexas el segundo caso ($DVP < L_v$) presenta la ecuación con la que se obtienen valores mayores de L_v para diferentes valores de A y de DVP , por lo tanto, es la empleada para elaborar la gráfica con la que se obtiene la longitud vertical mínima de modo que se cumpla la distancia de visibilidad de parada.

Los valores de K que aparecen en la ilustración 50 corresponden a las distancias de visibilidad de parada obtenidas por el INVIAS. hasta la velocidad de diseño de 70 Km/h. A partir de 80 Km/h los valores de K son menores a los que se obtendrían calculando con la correspondiente distancia de visibilidad de parada. Para

velocidades altas, se toman valores de K muy similares a los de la AASHTO para los límites inferiores dentro de rangos determinados de velocidades.

Ilustración 50. Longitud de curva vertical cóncava



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

En la Tabla 24, aparecen los valores mínimos recomendados de kv, para las sucesivas velocidades específicas de las curvas verticales VCV y sus correspondientes distancias mínimas de visibilidad de parada Dp, tanto para curvas verticales convexas como para cóncavas.

Tabla 24. Valores mínimos de K_v , para curvas verticales convexas y cóncavas con visibilidad de parada (criterio de seguridad)

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

Fuente: INVIAS Manual de diseño geométrico de vías

11. ALINEAMIENTO VERTICAL

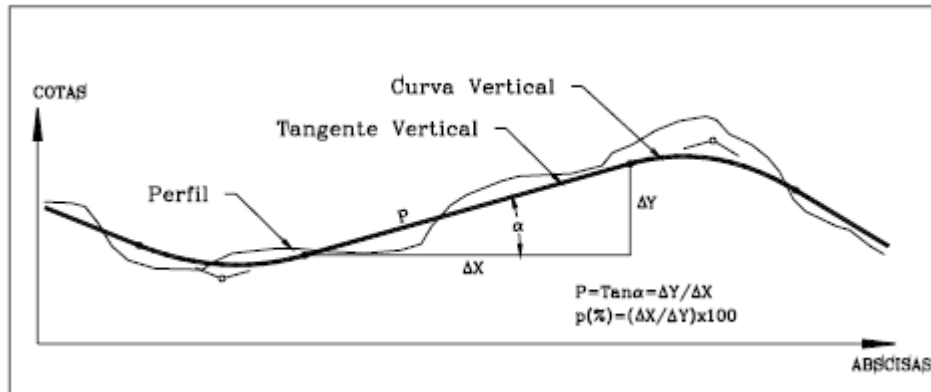
El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Al eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea sub-rasante.

El diseño vertical o de rasante se realiza con base en el perfil del terreno a lo largo del eje de la vía. Dicho perfil es un gráfico de las cotas negras, donde el eje horizontal corresponde a las abscisas y el eje vertical corresponde a las cotas, dibujadas de izquierda a derecha.

11.1 ELEMENTOS

El alineamiento vertical de una vía compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil. La rasante a su vez está compuesta por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre sí por curvas. Las longitudes de todos los elementos del alineamiento vertical se consideran sobre la proyección horizontal, es decir, en ningún momento se consideran distancias inclinadas.

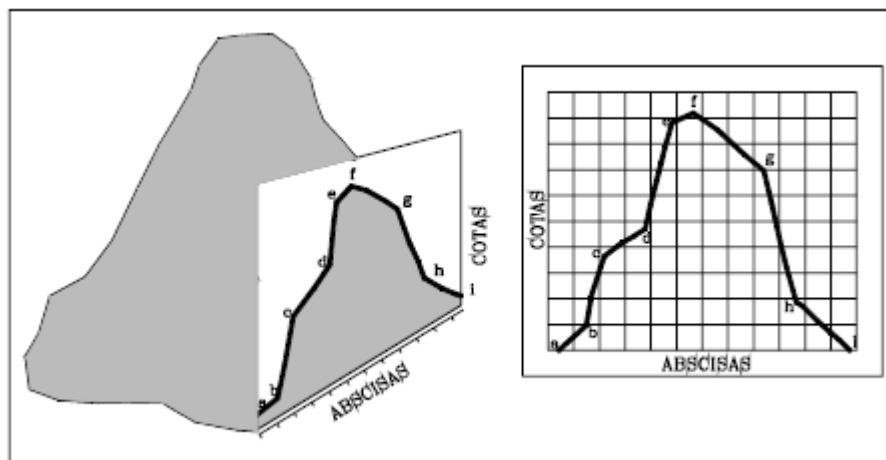
Ilustración 51. Elementos alineamiento vertical.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

11.1.1 Perfil. El perfil del alineamiento vertical de una vía corresponde generalmente al eje de esta y se puede determinar a partir de una topografía o por medio de una nivelación de precisión. Cuando el eje de un proyecto se localiza en el terreno este debe ser nivelado con el fin de obtener el perfil de dicho terreno y sobre este proyectar la rasante más adecuada.

Ilustración 52. Perfil del terreno.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

A lo largo de la nivelación del eje se debe dejar cada 500 metros un BM, con el fin de controlar las cotas durante la construcción, además de permitir verificar la contra nivelación del eje. El error de cierre permitido en una nivelación para una vía es:

$$e_{\max} = 1.2\sqrt{K}$$

Donde:

K= distancia entre BMs en Kilómetros.

e= error admisible en centímetros.

11.2.2 Rasante. Compuesta por tangentes y curvas. Las Tangentes tienen su respectiva longitud, la cual es tomada sobre la proyección horizontal (ΔX) y una pendiente (p) definida y calculada. Dicha pendiente de encuentra entre un valor mínimo y máximo que depende principalmente del tipo de terreno, el tipo de vía, la velocidad de diseño y la composición vehicular que podría tener la vía.

Por su parte la curva vertical que permite enlazar dos tangentes verticales consecutivas, y que corresponde a una parábola, brinda las siguientes ventajas:

- Permite un cambio gradual de pendiente desde la tangente de entrada hasta la tangente de salida.
- Facilita la operación vehicular de una manera cómoda y segura
- Brinda una apariencia agradable.
- Permite un adecuado drenaje.

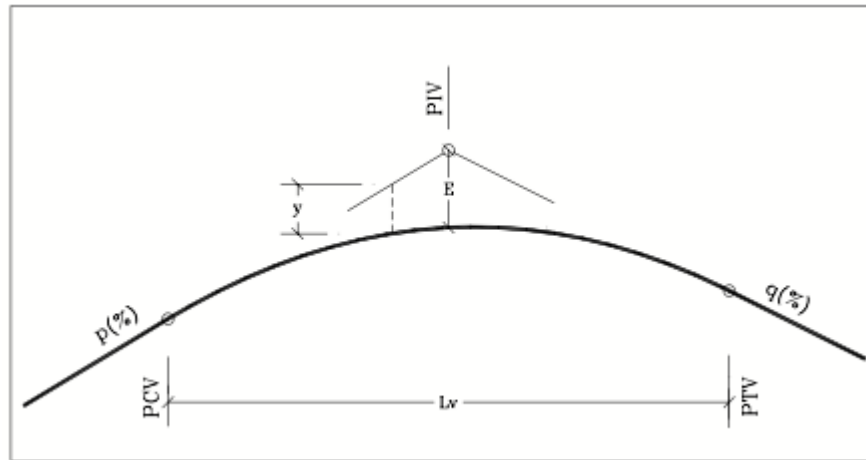
A su vez esta curva parabólica presenta las siguientes propiedades:

- La variación de pendiente es una constante a lo largo de toda la curva.
- Los elementos verticales de la curva (cotas) varían proporcionalmente con el cuadrado de los elementos horizontales (abscisas).

- La pendiente de una cuerda de la parábola es el promedio de las pendientes de las líneas tangentes a la curva en los extremos de la cuerda.

11.3 ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL.

Ilustración 53.Elementos de una curva vertical



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

PCV = Principio de curva vertical.

PIV = Punto de intersección vertical

PTV = Principio de tangente vertical. Final de la curva vertical

E = Externa. Distancia vertical entre el PIV y la curva.

Lv = Longitud de curva vertical

p(%) = Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.

q(%) = Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.

y = Corrección vertical

A = Diferencia algebraica de pendientes = q - p

El valor para la externa en una curva vertical simétrica corresponde a:

$$E = \frac{Lv(q - p)}{8}$$

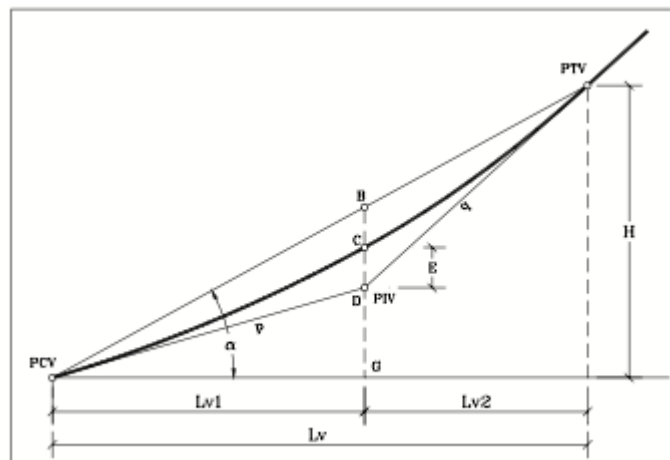
Si se consideran p y q en porcentaje, se tiene que:

$$E = \frac{Lv(q - p)}{800}$$

11.5 CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA

La curva vertical asimétrica está conformada por dos parábolas de diferente longitud, que se unen en la proyección vertical del PIV.

Ilustración 55. Curva vertical asimétrica



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

A partir de la ilustración se tiene que:

$$E = \frac{Lv1. Lv2. (q - p)}{200. Lv}$$

Con p y q expresado en porcentaje.

Para el cálculo de las correcciones verticales se tiene que:

$$y1 = E. \left(\frac{x1}{Lv1} \right)^2$$

y1 = Corrección vertical (m)

E = Externa de la curva vertical (m)

x1 = Distancia de la abscisa en cuestión desde el PCV

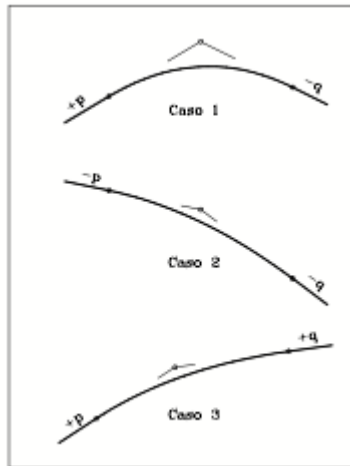
Lv1 = Longitud de la curva inicial = Distancia PCV – PIV

11.6 TIPOS DE CURVA VERTICAL

Las curvas verticales, también se clasifican de acuerdo a las pendientes en cóncavas y convexas.

11.6.1 Curva vertical convexa. Para este tipo de curva se presentan 3 casos:

Ilustración 56. Curva vertical convexa



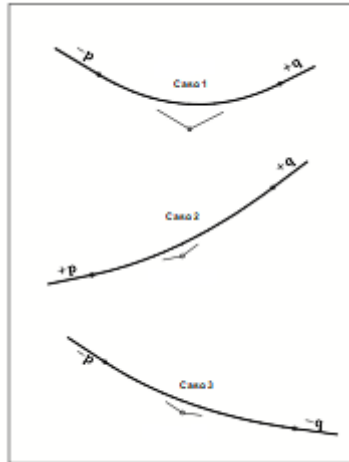
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

- Caso 1. $p > 0, q < 0$
- Caso 2. $p < 0, q < 0, p > q$
- Caso 3. $p > 0, q > 0, p > q$

Para la curva del Caso 1, cuando las pendientes tienen diferente signo, se presenta a lo largo de su trayectoria un punto de cota máxima, mientras que para los otros dos casos, 2 y 3, el punto de cota máxima de la curva estaría ubicado al principio y al final de esta, respectivamente.

11.6.2 Curva vertical cóncava. Este tipo de curva también presenta tres casos diferentes:

Ilustración 57. Curva vertical cóncava



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

- Caso 1. $p < 0, q > 0$
- Caso 2. $p > 0, q > 0, p < q$
- Caso 3. $p < 0, q < 0, p < q$

Para el tipo de curva cóncava el Caso 1, un punto en la curva se va a presentar la cota mínima. En el caso 2 presenta su cota mínima sobre la curva al principio y en el caso 3 al final de esta.

11.7 LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL

Se tiene entonces que la longitud mínima de curva es:

$$Lv = K.A.$$

Donde:

Lv = Longitud curva vertical (m)

K = coeficiente angular de curva vertical

A = Diferencia algebraica de pendientes (%)

Ilustración 58. Valores de K

VALORES DE K PARA CURVAS VERTICALES			
VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	CURVAS CÓNCAVAS	CURVAS CONVEXAS	LONGITUD MÍNIMA
30	4	2	30
40	7	4	30
50	10	8	40
60	15	13	50
70	20	20	50
80	25	31	60
90	31	44	70
100	37	58	70
120	56	117	90

Fuente: INVIAS Manual de Diseño Geométrico de Vías

11.8 CÁLCULO DE CURVA VERTICAL

- Luego de tener definida la rasante más apropiada para el perfil del terreno se deben calcular las pendientes de las tangentes. la pendiente de una línea está dada por:

$$p(\%) = \frac{\text{Distancia vertical}}{\text{Distancia horizontal}} \times 100$$

- A partir de la velocidad de diseño asumida para el proyecto y el tipo de curva se halla el valor de K y se calcula la longitud mínima de curva vertical.

$$L_v = K.A. = K.(q - p)$$

- Se calcula la externa para la curva.

- Se calculan las cotas de las dos tangentes (CT) de la curva. El cálculo de la cota tangente se realiza a partir de otro punto de cota conocida, generalmente del PIV.

$$CT2 = CT1 + \frac{\text{pendiente}(\%) \times \text{Distancia horizontal}}{100}$$

- Se calculan las correcciones verticales (y) para cada una de las estaciones ubicadas dentro de la curva.
- Se calcula la cota rasante o cota roja (CR) de las estaciones de la curva vertical.

$$CR = CT + y$$

11.9 EJERCICIO RESUELTO

- Cálculo para una curva vertical simétrica

Se tiene la siguiente información de una rasante, Se requiere calcular la rasante de las curvas verticales ubicadas entre el Punto 1 y el Punto 4 considerando una velocidad de diseño de 50 Km/h.

PUNTO	ABSCISA	COTA
1	K0+000	1324.51
2	K0+180	1337.83
3	K0+370	1322.25
4	K0+580	1335.90

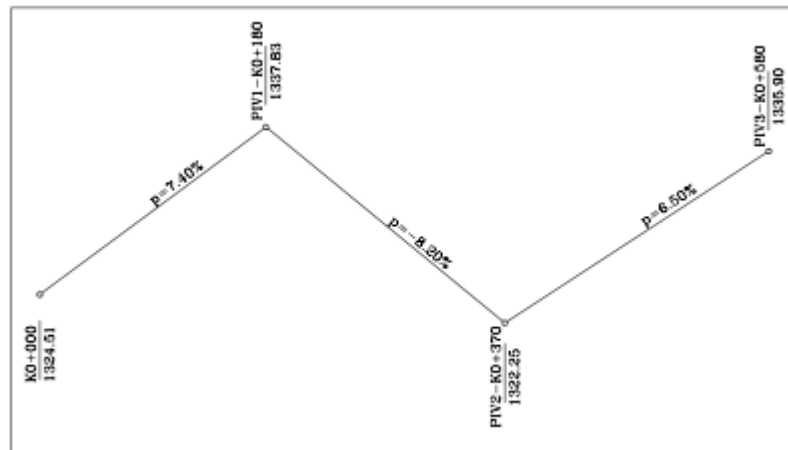
Inicialmente se debe calcular el valor de las pendientes entre los puntos de quiebre de la rasante:

$$p_{1-2} = \frac{1337.83 - 1324.51}{180 - 0} * 100 = 7.4\%$$

$$p_{2-3} = \frac{1322.25 - 1337.83}{370 - 180} * 100 = -8.2\%$$

$$p_{3-4} = \frac{1335.9 - 1322.25}{580 - 370} * 100 = 6.5\%$$

Ilustración 59. Esquema ejercicio



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Para velocidad de diseño de 50 Km/h se tienen los siguientes valores de K.

Curva cóncava (Hondonada) K = 10

Corva convexa (Cima) K = 8

Se tiene entonces que para la primera curva vertical la diferencia de pendientes A es:

$$A = -8.2 - 7.4 = -15.6\%$$

Como es una curva convexa la longitud mínima requerida es:

$$L_v = 15.6 \times 8 = 124.8 \text{ m.}$$

Se toma para esta primera curva una longitud de 130.0 metros.

La segunda curva presenta una diferencia algebraica de:

$$A = 6.5 - (-8.2) = 14.7\%$$

Como se trata de una curva cóncava su longitud mínima es:

$$L_v = 14.7 \times 10 = 147.0$$

Se debe tomar entonces una longitud de 150.0 metros.

En la siguiente tabla se tiene la información de pendientes y longitudes:

PUNTO	ABSCISA	COTA	p(%)	A(%)	K	Lv
POT	0	1324.51				
			7.4			
PIV 1	180	1337.83		-15.6	8	130
			-8.2			
PIV 2	370	1322.25		14.7	10	150
			6.5			
PIV 3	580	1335.9				

• **Cálculo de Curva 1.** Inicialmente se calcula la externa para una curva vertical simétrica con pendientes $p=7.4\%$ y $q=-8.2\%$:

$$E = \frac{Lv(q - p)}{800} = \frac{130(-8.2 - 7.4)}{800} = -2.54$$

Ahora se calcula las abscisas de PCV y PTV:

$$PCV = PIV - Lv/2 = 180 - 130/2 = 115$$

$$PTV = PIV + Lv/2 = 180 + 130/2 = 245$$

Las cotas de estos dos puntos serían:

$$Cota_{PCV} = Cota_{PIV} - \frac{p \left(\frac{Lv}{2} \right)}{100} = 1337.83 - \frac{7.4 \left(\frac{130}{2} \right)}{100} = 1332.02$$

$$Cota_{PTV} = Cota_{PIV} + \frac{q \left(\frac{Lv}{2} \right)}{100} = 1337.83 + \frac{(-8.2) \left(\frac{130}{2} \right)}{100} = 1332.50$$

Cota tangente. Las cotas en la tangente para esta curva se calculan a partir del PIV1. Se requiere entonces calcular la cota tangente, de 10 en 10, entre las abscisas 120 y 240.

Para calcular las cotas de las abscisas ubicadas antes del PIV1 se tiene en cuenta la distancia a este y la pendiente inicial $p=7.4\%$:

$$CT_i = Cota_{PIV} - \frac{(p(\%))X_i}{100}$$

$$CT_{120} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 120)}{100} = 1333.39$$

$$CT_{130} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 130)}{100} = 1334.13$$

$$CT_{140} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 140)}{100} = 1334.87$$

$$CT_{150} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 150)}{100} = 1335.61$$

$$CT_{160} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 160)}{100} = 1336.36$$

$$CT_{170} = 1337.83 - \frac{(7.4)(180 - 170)}{100} = 1337.1$$

Luego se calculan las cotas de las abscisas ubicadas después del PIV, o sea desde la 180 hasta la 240. En este caso se tiene en cuenta la distancia del punto al PIV y la pendiente final $q = - 8.2\%$.

$$CT_{190} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(190 - 180)}{100} = 1337.01$$

$$CT_{200} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(200 - 180)}{100} = 1336.19$$

$$CT_{210} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(210 - 180)}{100} = 1335.37$$

$$CT_{220} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(220 - 180)}{100} = 1334.55$$

$$CT_{230} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(230 - 180)}{100} = 1333.73$$

$$CT_{240} = 1337.83 - \frac{(-8.2)(240 - 180)}{100} = 1332.91$$

Corrección vertical. Ahora se calculan las correcciones verticales para las abscisas ubicadas dentro de la curva

$$y = E. \left(\frac{x}{Lv/2} \right)^2$$

Para las abscisas ubicadas entre el PCV y el PIV la distancia x se considera a partir del PCV:

$$y_{120=-2,54} \left(\frac{120 - 115}{65} \right)^2 = -0.02$$

$$y_{130=-2,54} \left(\frac{130 - 115}{65} \right)^2 = -0.14$$

$$y_{140=-2,54} \left(\frac{140 - 115}{65} \right)^2 = -0.38$$

$$y_{150=-2,54} \left(\frac{150 - 115}{65} \right)^2 = -0.74$$

$$y_{160=-2,54} \left(\frac{160 - 115}{65} \right)^2 = -1.22$$

$$y_{170=-2,54} \left(\frac{170 - 115}{65} \right)^2 = -1.82$$

Cota Rasante. La cota rasante se halla con solo sumar, para cada abscisa, los valores correspondientes de cota tangente (CT) y la corrección vertical (y).

$$CR = CT + y$$

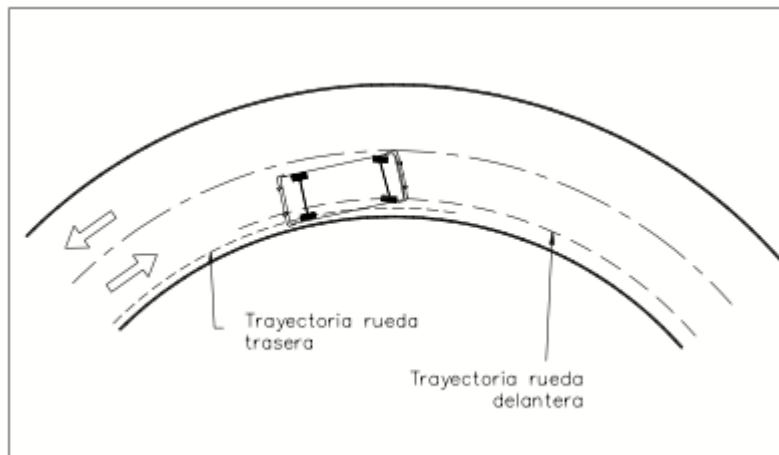
El cuadro final de rasante para la Curva 1 se presenta a continuación:

PUNTO	ABSCISA	CT	y	CR
PCV	115.00	1333.02	0.00	1333.02
	120.00	1333.39	-0.02	1333.38
	130.00	1334.13	-0.14	1334.00
	140.00	1334.87	-0.38	1334.50
	150.00	1335.61	-0.74	1334.88
	160.00	1336.35	-1.22	1335.14
	170.00	1337.09	-1.82	1335.28
PIV	180.00	1337.83	-2.54	1335.30
	190.00	1337.01	-1.82	1335.20
	200.00	1336.19	-1.22	1334.98
	210.00	1335.37	-0.74	1334.64
	220.00	1334.55	-0.38	1334.18
	230.00	1333.73	-0.14	1333.60
	240.00	1332.91	-0.02	1332.90
PTV	245.00	1332.50	0.00	1332.50

12. SOBREANCHO

Cuando un vehículo circula sobre una curva horizontal sus ruedas traseras describen una trayectoria corresponde a un arco de radio menor diferente a la de las ruedas delanteras tal como se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 60. Trayectoria de las ruedas de un vehículo en curva



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

En algunas ocasiones se hace necesario especificar un ancho adicional de calzada en la curva con el fin de evitar que los vehículos se salgan de la vía. Este ancho es variable dependiendo las condiciones de la vía y la misma curva.

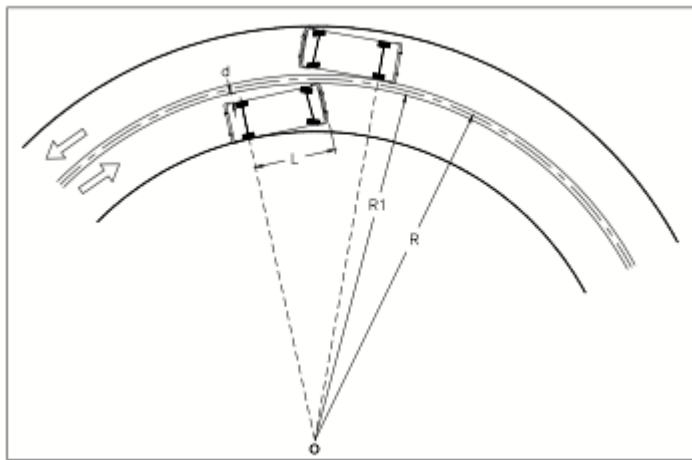
Los elementos que influyen en la determinación del ancho adicional, llamado sobreancho, son:

- Ancho del carril
- Radio de la curva
- Deflexión de la curva

- Número de carriles
- Vehículo de diseño
- Velocidad de diseño

12.1 CÁLCULO DEL SOBREANCHO

Ilustración 61. Sobreancho requerido en una curva



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

El valor del sobreancho necesario de la curva es:

$$s = 2. (R - \sqrt{R^2 - L^2})$$

Algunos diseñadores trabajan con la expresión anterior, pero adicionándole un factor de seguridad empírico que depende del radio de la curva, en metros, y la velocidad de diseño, en Km/h. La expresión completa es conocida como la fórmula de Barnett y se muestra a continuación:

$$s = 2. \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{0.1V}{\sqrt{R}}$$

En Colombia el INVIAS. ha adoptado la siguiente expresión:

$$s = n. \frac{L^2}{2. R}$$

Donde:

S = Sobreancho requerido para la curva (m)

R = Radio de la curva (m)

L = Distancia entre parte frontal y eje trasero del vehículo de diseño (m)

n = Número de carriles de la calzada

El INVIAS. tiene las siguientes consideraciones para el cálculo del sobreancho:

- Los valores obtenidos serán redondeados a múltiplos de 0.1 metros
- Para anchos de calzada en recta mayores de 7.0 metros, no requieren sobreancho, a menos que el ángulo de deflexión sea mayor de 120°
- Curvas con radios mayores a 160.0 m, no requieren sobreancho.
- Con lo anterior se obtiene que el sobreancho mínimo a colocar es de 0.40 metros
- El sobreancho se debe colocar solamente en el borde interno de la calzada
- El eje de la vía debe ser demarcado de forma tal que sea el centro de la calzada ya ensanchada.

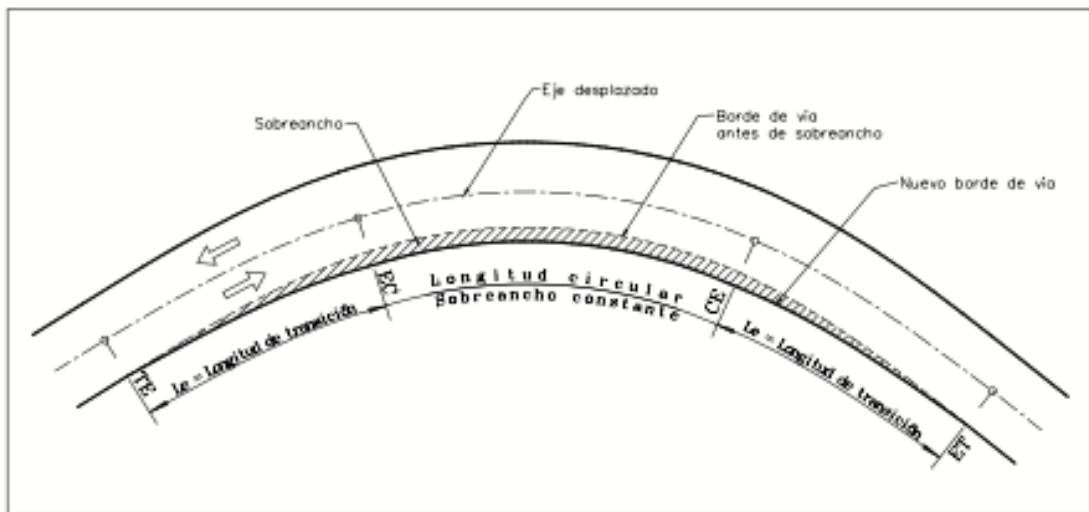
12.2 TRANSICIÓN DEL SOBREANCHO

La transición del sobreancho se debe realizar de una forma gradual y a lo largo de una longitud apropiada de modo que no se observen cambios bruscos en el ancho de la calzada. Dicha transición se realiza de manera distinta dependiendo si la curva es circular simple o espiralizada.

Curvas espiralizadas.

La transición del sobreebanco se realiza a lo largo de la longitud espiral simultáneamente con la transición del peralte. Es decir que en la abscisa del TE el sobreebanco es cero y aumenta de forma lineal hasta la abscisa del EC donde alcanza su valor máximo e igual al requerido. Continúa constante toda la curva circular, o sea hasta la abscisa del CE, y por último se reduce de forma lineal hasta la abscisa del ET donde su valor es cero. En la ilustración se puede observar lo anteriormente descrito.

Ilustración 62. Transición del sobreebanco en curva espiralizada



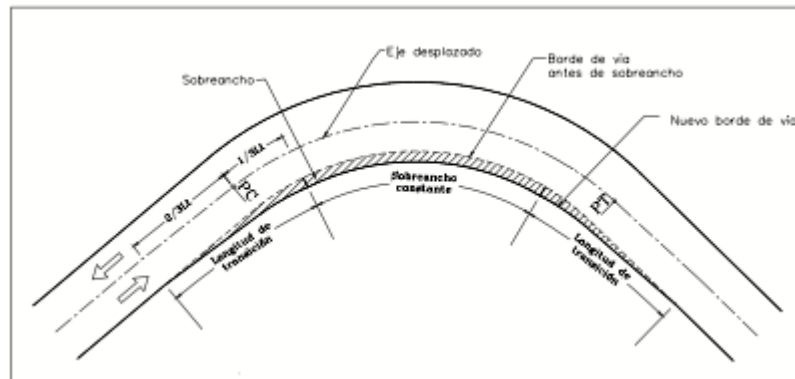
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Curvas circulares

Las curvas circulares, al igual que con la transición del peralte, presenta diferentes opciones, sin dejar de ser inconveniente, para la transición del sobreebanco. No solo se presentan dudas en la localización de la transición sino en la longitud de esta. Los métodos más empleados son:

- Toda la transición se realiza por fuera de la curva circular, es decir que la curva circular presenta un sobreancho constante e igual al requerido a lo largo de toda su longitud.
- Parte de la transición se realiza por fuera de la curva y parte dentro de esta. La longitud considerada dentro de la curva está entre $1/2$ y $1/3$ de la transición total.

Ilustración 63. Transición del sobreancho en curva circular simple



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

12.3 LONGITUD DE TRANSICION

La longitud de transición de sobre ancho varía de acuerdo al tipo de curva:

12.3.1 Curvas espiralizada. Es igual a la longitud de la curva espiral, L_e

12.3.2 Curvas circulares Se asume una longitud entre 10 y 30 metros normalmente, sabiendo que a mayor sobre ancho mayor longitud, también influye el aspecto estético, a mayor longitud mejor apariencia y el económico, a mayor longitud mayor área de pavimento requerida.

12.4 CALCULO DE LA TRANSICION DEL SOBREANCHO

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobre-ancho debe desarrollarse gradualmente a la entrada y a la salida de las curvas.

En el caso de curvas circulares simples, por razones de apariencia, el sobre-ancho debe desarrollarse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada en la misma longitud L_t utilizada para la transición del peraltado, nos apoyamos en la Figura 64 donde se tiene lo siguiente:

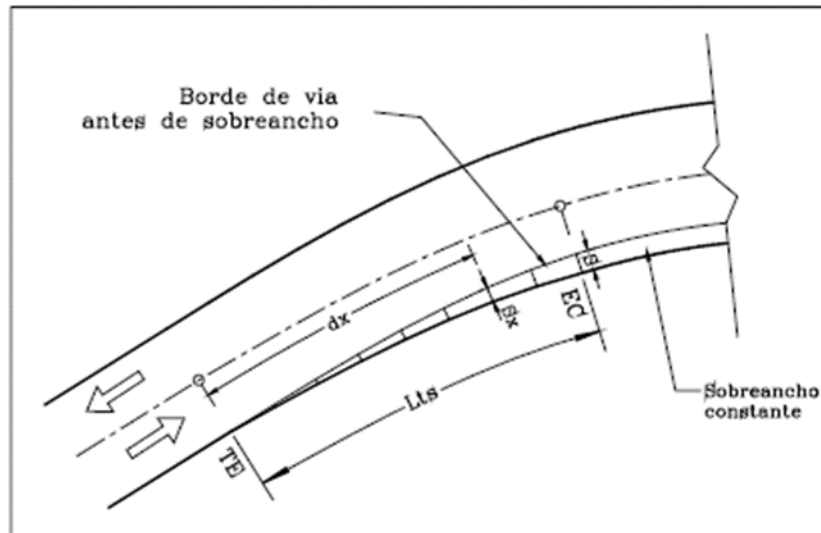
S = Sobreancho requerido para la curva

L_s = Longitud de transición del sobreancho

S_x = Sobreancho en una abscisa x

dx = Distancia desde inicio de transición del sobreancho a la abscisa x

Ilustración 64. Calculo de transición de sobreancho.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Entonces se tiene la siguiente expresión:

$$Sx = \frac{dx * S}{Lts}$$

12.5 EJEMPLOS

Sobre-ancho en curvas y transición, vehículos rígidos.

Datos:

Angulo de deflexión principal = $\Delta = 130^\circ$

Radio de la curva circular = $Rc = 73m$

Velocidad específica de la curva = $VCH = 50 \text{ Km/h}$

Peralte recomendado = $e = 8\%$

Pendiente relativa de los bordes = $m = 0.77\%$

Ancho de la calzada en tangente = $7.30m$ (dos carriles)

Vehículo tipo = Camión de 2 ejes

Calcular:

- El sobre-ancho necesario para el camión.
- El sobre-ancho a una distancia de 20 metros desde su inicio.

Solución:

- Según la tabla para un camión de 2 ejes, la distancia L es de 8.00 metros, y de acuerdo con la ecuación anterior, el sobre ancho necesario es:

$$S = 2 \left(73 - \sqrt{73^2 - 8.00^2} \right) + \frac{0.1(50)}{\sqrt{73}} = 0.879 + 0.585 = 1.464m$$

b. Sobre-ancho a 20 metros.

La longitud de transición de peralte es:

$$L_t = \frac{\text{carril}(e)}{m} = \frac{3.65m(8.0\%)}{0.77\%} = 37.922m$$

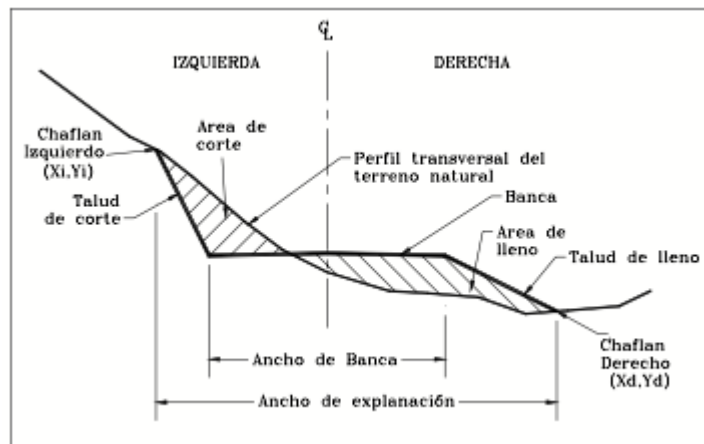
El sobreancho desarrollado a una distancia de 20 metros desde su inicio, es:

$$Sp = \left(\frac{L_p}{L_t}\right) * S = \left(\frac{20}{37.922}\right) * 1.464 = 0.772m$$

13. MOVIMIENTOS DE TIERRA

El movimiento de tierra necesario para la construcción de una carretera se determina a partir de los perfiles o secciones transversales obtenidos a lo largo del eje de la vía. El área de explanación está definida por la banca, los taludes y el perfil transversal del terreno natural. Mientras que el ancho de explanación es la distancia comprendida entre el chaflán izquierdo y el chaflán derecho, tal como lo muestra la ilustración 64.

Ilustración 65. Áreas de explanación



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Se denomina chaflán a las coordenadas de los extremos de los taludes con respecto al eje de la sub-rasante o en otras palabras los chaflanes o estacas extremas de talud, son los puntos donde los taludes, de corte o terraplén, encuentran el terreno natural. Por su parte la sub-rasante es la superficie acondicionada donde se apoya la estructura de pavimento.

El cálculo del movimiento de tierra debe realizarse por medio de secciones transversales por las siguientes razones:

- El volumen debe ser discriminado por sectores de acuerdo al tipo de suelo ya que los costos de explanación varían de acuerdo a este.
- A partir de las secciones transversales se obtienen los chaflanes que deben ser ubicados en el terreno con el fin de indicar los límites de la explanación y la altura de los taludes.
- Para elaborar el diagrama de masas y manejar de la mejor forma los volúmenes de tierra excedentes se requiere obtener cantidades como mínimo cada 100 metros.
- La gran mayoría de entidades, oficiales y privadas, exigen la presentación del diseño transversal y el movimiento de tierra por medio de secciones transversales debido a que se tiene una información gráfica mucho más completa y detallada.
- Para el diseño del drenaje, principalmente cunetas y alcantarillas, se requiere tener dibujadas las secciones transversales.

13.1 SECCIÓN TRANSVERSAL ESQUEMA

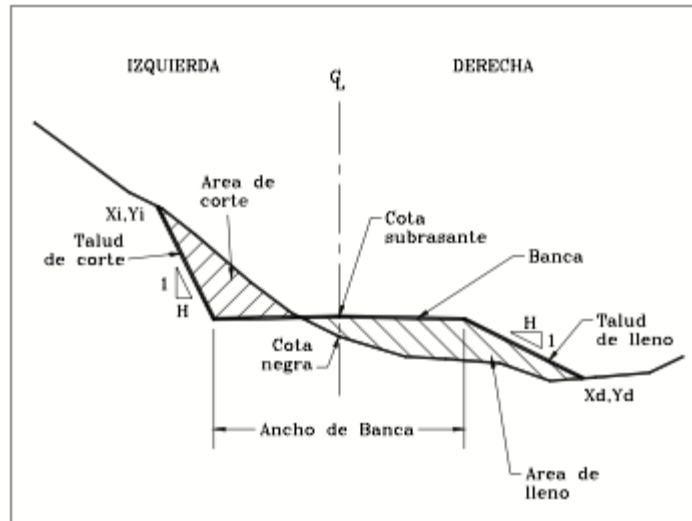
Para determinar tanto las áreas como los chaflanes de una sección transversal es necesario dibujarla, en papel milimetrado o en el computador, a partir de la siguiente información:

- Perfil transversal
- Ancho de banca
- Cota negra = Cota del terreno natural.
- Cota sub-rasante = Cota Roja o cota del proyecto.
- Inclinación talud de corte y/o lleno

- Peralte

El valor del peralte permite una mayor exactitud en el cálculo de las áreas y de los chaflanes.

Ilustración 66. Elementos para el cálculo de áreas y chaflanes

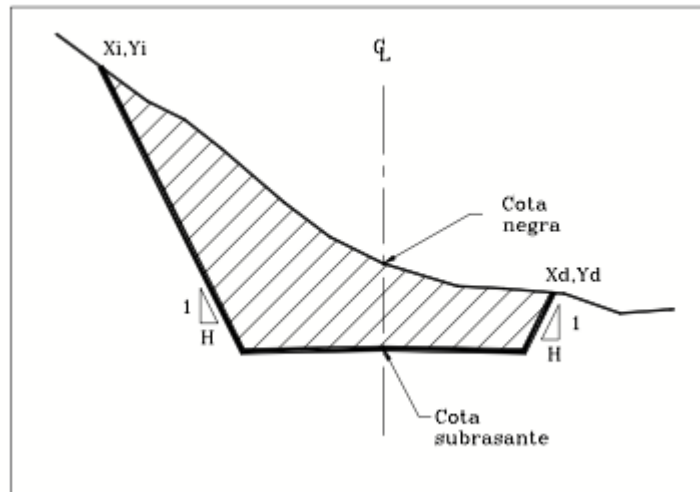


Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

13.2 SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS

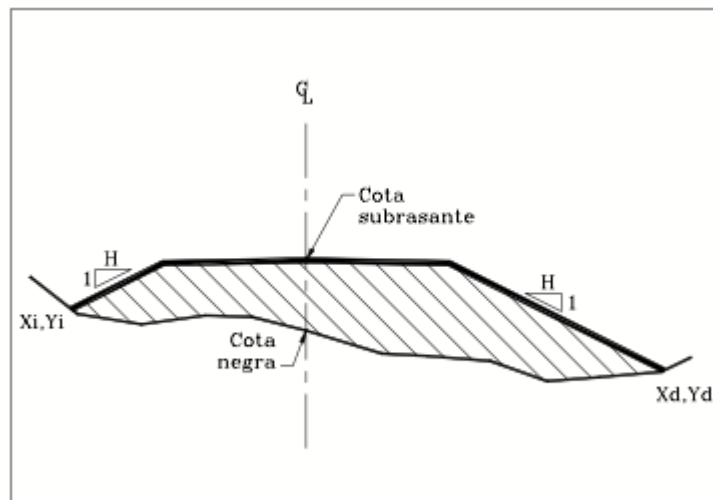
Dependiendo del tipo de terreno o topografía o del alineamiento vertical, predominará una sección transversal determinada, la cual será típica para ese tramo.

Ilustración 67. Sección en corte o excavación



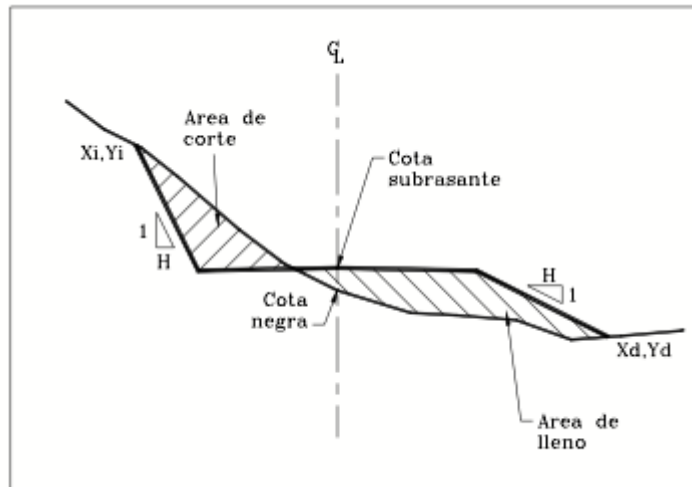
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Ilustración 68. Sección en lleno o terraplén



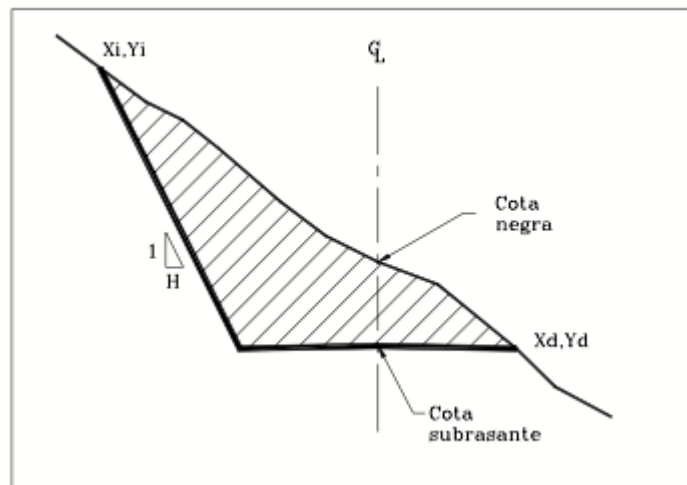
Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Ilustración 69. Sección mixta (Corte y Relleno)



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Ilustración 70. Sección en corte en ladera



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

13.3 CÁLCULO DE ÁREAS

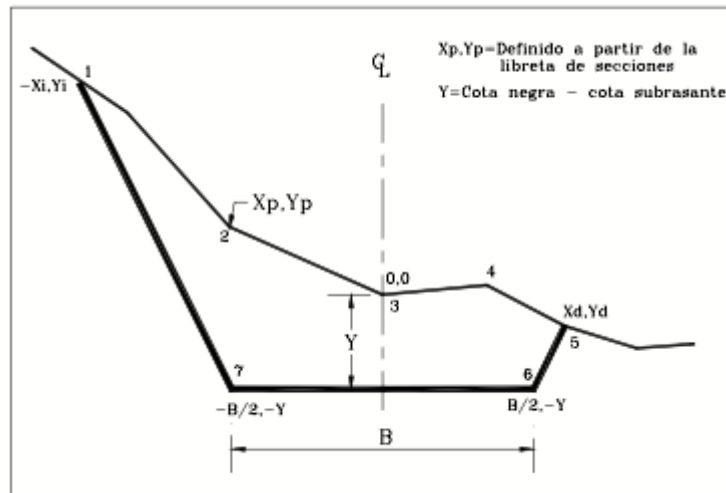
Los principales procedimientos utilizados para el cálculo de las áreas de excavación y terraplén de una sección transversal son:

- **Por computador:** Mediante software especializados en diseño de carreteras (AutoCAD). Dicho software se encarga de obtener las secciones transversales y calcular sus áreas de explanación de forma automática a partir del diseño horizontal, el diseño vertical y el diseño transversal.
- **Con planímetro:** El planímetro es un aparato que permite calcular el área de una superficie irregular consignada en un plano a una escala determinada. Existen planímetros mecánicos y electrónicos, siendo más preciso y rápido este último.
- **Por coordenadas:** Como se conoce la cota negra, la cota subrasante, los chaflanes, el perfil del terreno y el ancho de banca es posible asignar coordenadas a todos los puntos a partir del eje, ya sea a la altura del perfil o a la altura de la banca.

El área de la sección de la ilustración 70 se calcularía así:

$$2A = [(N1xE2 + N2xE3 + N3xE4 + N4xE5 + N5xE6 + N6xE7 + N7xE1) - (E1xN2 + E2xN3 + E3xN4 + E4xN5 + E5xN6 + E6xN7 + E7xN1)]$$

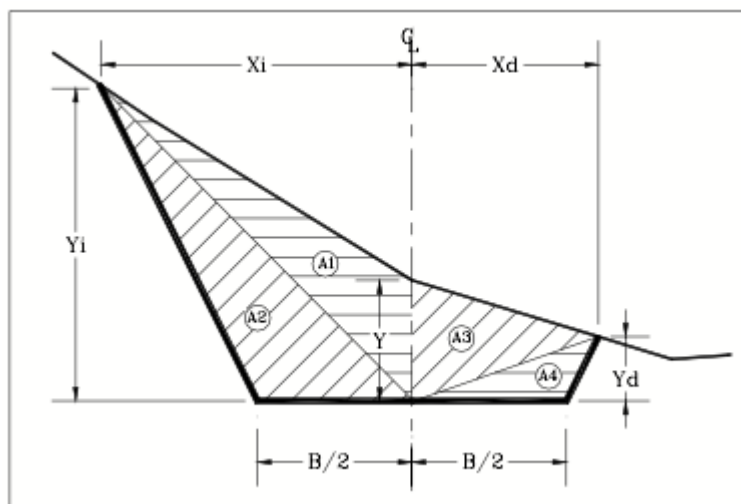
Ilustración 71. Cálculo de área por coordenadas



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

- **Gráficamente (por triángulos):** Cuando la sección no es muy irregular es posible calcular su área por medio de triángulos, tal como se ve en la ilustración 71.

Ilustración 72. Cálculo de área por medio de triángulos



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

El área total de corte está dada por:

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

Donde:

$$A_1 = Y * X_i$$

$$A_2 = Y_i * (B/2)/2$$

$$A_3 = Y * X_d$$

$$A_4 = Y_d * (B/2)/2$$

- **Por chaflanes:** Esta metodología se tratará de una manera más profunda a continuación.

14. CHAFLANES

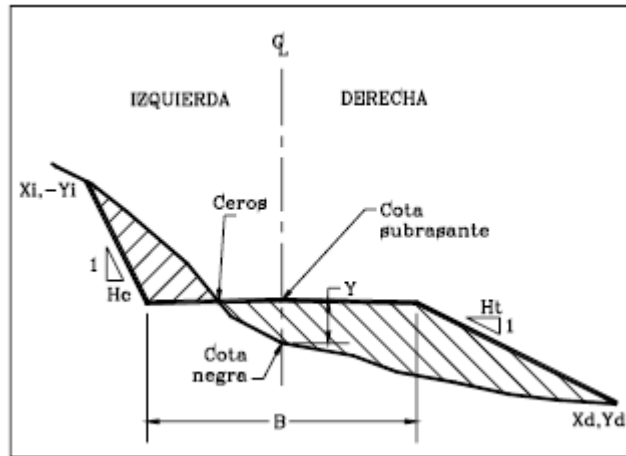
El método de los chaflanes permite obtener las áreas de una manera más rápida sin necesidad de levantar el perfil transversal del terreno en cada una de las abscisas consideradas para el cálculo del movimiento de tierra. Esta metodología es precisa siempre y cuando las secciones transversales sean muy regulares o además de obtener los puntos de los chaflanes se obtengan también los quiebres importantes de la sección.

14.1 DETERMINACIÓN DE CHAFLANES

Además de determinar en el campo la ubicación del chaflán izquierdo y el chaflán derecho, Los chaflanes son los puntos donde los taludes, de corte o terraplén, encuentran el terreno natural. Los ceros son aquellos puntos de paso de corte a terraplén o viceversa.

Una sección transversal se puede presentar varios ceros. Se define además como cota de trabajo la diferencia entre la cota negra y la cota sub-rasante, en otras palabras, significa la magnitud de la excavación o de relleno a realizar en el eje de la vía. Ilustración 73.

Ilustración 73. Valor de chaflanes



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Se tiene que la cota de trabajo puede ser negativa o positiva, dependiendo si es excavación o relleno, el valor de la coordenada Y será negativo cuando es corte y positivo cuando es terraplén.

Para determinar los chaflanes de una sección transversal en el terreno es necesario conocer:

- Ancho de banca
- Cota negra
- Cota sub-rasante
- Inclinación talud de corte y/o relleno

Tales posiciones se expresan a través de las siguientes ecuaciones:

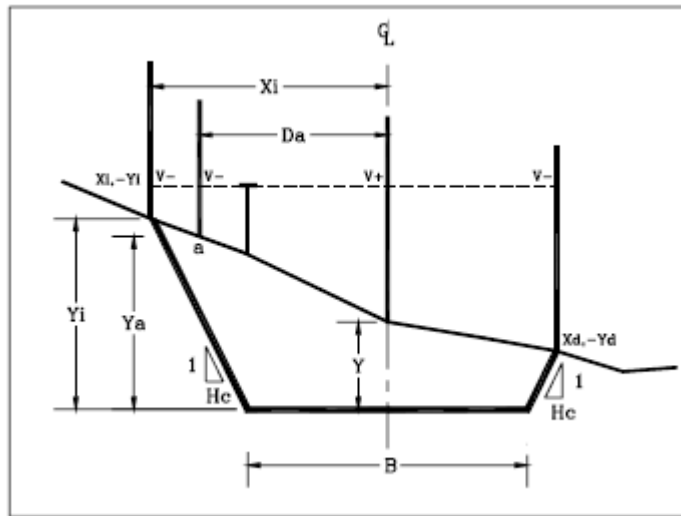
$$X_i = \frac{B}{2} + Y_i * H_c$$

$$X_d = \frac{B}{2} + Y_d * H_t$$

El procedimiento para determinar los chaflanes varía de acuerdo al tipo de sección, corte, relleno o mixta, que se nombrar a continuación:

- **Sección en corte:** teniendo una buena ubicación y ubicando en el eje el valor llamado V_+ , luego a criterio del observador se ubica la mira donde la distancia sea mayor de $B/2$, obteniendo aso el valor de V_- y la distancia D_a para el punto a. Ilustración 74

Ilustración 74. Determinación de chaflanes en sección de corte.



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Para el punto a, el valor de Y_a es:

$$Y_a = Y + V_+ - V_-$$

Ahora se comprueba si cumple:

$$D_a = \frac{B}{2} + Y_a * H_c$$

Si la ecuación no cumple, entonces se modifica la ubicación de la mira hasta un punto tal que se tenga:

$$X_i = \frac{B}{2} + Y_i * H_c$$

De igual forma, se hace lo mismo con el lado derecho.

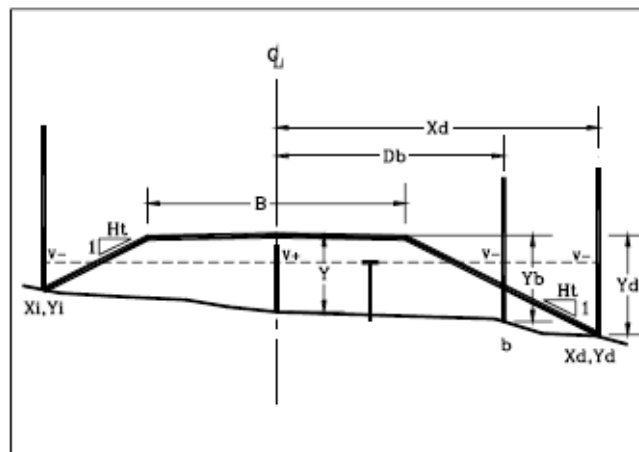
Los valores obtenidos se consignan en una libreta indicando además el valor de Y.

Su formato es el siguiente:

<u>Y_i</u>	<u>Y</u>	<u>Y_d</u>
X _i	Abscisa	X _d

- **Sección de terraplén:** Al tener un valor de Y positivo indica que es una sección en lleno, al menos en el eje. Al igual que en la sección en corte, se toma la lectura sobre la mira en el eje (V+) y la lectura en el sitio (punto b) donde se considere que queda el chaflán (V-).

Ilustración 75. Determinación de chaflanes en sección de relleno



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

El valor de Y_d en el punto b es:

$$Y_b = V^- - V^+ + Y$$

Y se comprueba la ecuación:

$$D_b = \frac{B}{2} + Y_b * H_t$$

Si la ecuación anterior no cumple entonces se debe desplazar la mira hasta un punto tal que se tenga.

$$X_d = \frac{B}{2} + Y_d * H_t$$

Se hace de la misma manera por el chaflán derecho.

Los valores obtenidos se consignan en una libreta indicando además el valor de Y .

- **Sección mixta:** Cuando se trata de una sección mixta la cota de trabajo puede ser negativa o positiva, es decir, en el eje se está cortando o se está llenando, mientras que los valores de Y_i y Y_d son de signos contrarios.

Si la cota de trabajo es negativa (corte) y al hallar para un punto cualquiera el valor de Y_p con:

$$Y_p = Y + V^+ - V^-$$

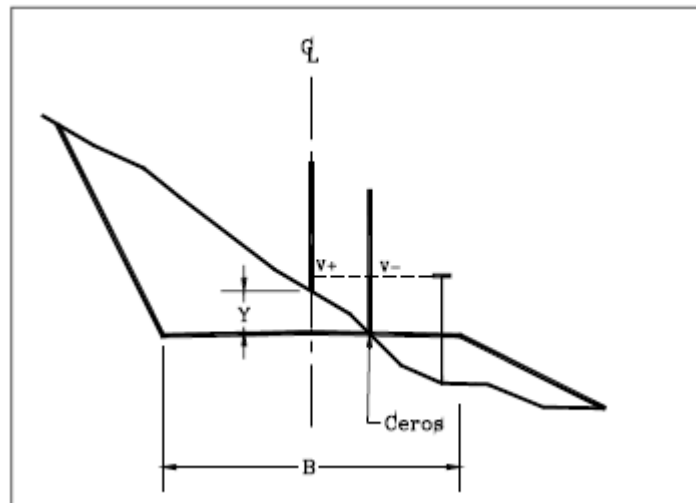
Se obtiene un valor negativo, para una distancia menor de $B/2$, significa que se tiene un cero y se debe hallar entonces un chaflán de lleno además de la correspondiente ubicación del cero.

El punto ceros se encuentra igualando a cero las dos ecuaciones anteriores. Es decir se debe mover la mira a lo largo de la sección hasta que se tenga un punto donde:

$$0 = Y + V_+ - V_-; \text{ para cota de trabajo } (Y) \text{ negativa. Ilustración 76}$$

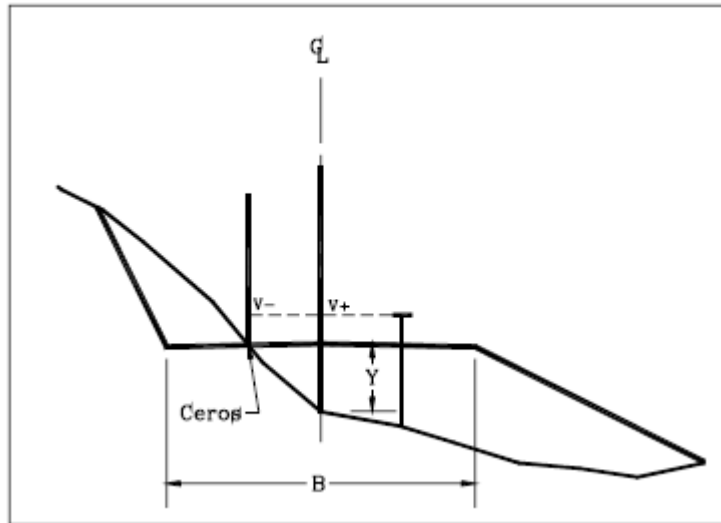
$$0 = V_- - V_+ + Y; \text{ para cota de trabajo } (Y) \text{ positiva. Ilustración 77}$$

Ilustración 76. Determinación de ceros en una sección mixta



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

Ilustración 77. Determinación de ceros en una sección mixta



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías de

También se consignan los valores en una libreta, como se mostró anteriormente.

14.2 CALCULO DE ÁREAS

Cuando se tiene la libreta de chaflanes de campo es posible calcular las áreas a partir de los datos consignados en esta. Para esto se emplea el método de las cruces el cual varía dependiendo si se trata de una sección toda en corte o toda en lleno o una sección mixta.

- Sección simple-corte o relleno.

\underline{Y}_i	\underline{Y}	\underline{Y}_d
X_i	Abscisa	X_d

En el lugar donde aparece el valor de la abscisa se anota el valor de la mitad de la banca ($B/2$), todos los valores son positivos y se efectúan productos en forma de cruz:

$$\begin{array}{ccc} Y_i & \times & Y \\ X_i & & B/2 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} Y & \times & Y_d \\ B/2 & & X_d \end{array}$$

El área se calcula así:

$$A = \frac{1}{2} \left[(Y(X_i + X_d) + \frac{B}{2}(Y_i + Y_d)) \right]$$

- Sección mixta-corte y relleno.

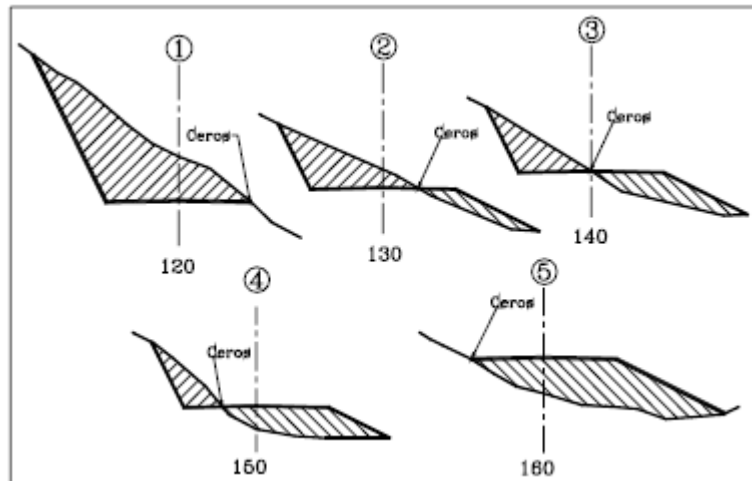
La ubicación de los ceros en una sección mixta puede variar tal como lo indica la ilustración 78. Las áreas de las secciones 1 y 5 se calculan por el método anterior ya que son secciones simples. Para las secciones 2, 3 y 4 los datos presentan el siguiente formato:

<u>Y_i</u>		<u>Y</u>	<u>0.0</u>	<u>Y_d</u>
X _i		Abscisa	Do	X _d

<u>Y_i</u>		<u>0.0</u>		<u>Y_d</u>
X _i		Abscisa		X _d

<u>Y_i</u>	<u>0.0</u>	<u>Y</u>		<u>Y_d</u>
X _i	Do	Abscisa		X _d

Ilustración 78. Determinación de ceros en una sección mixta



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Sección con ceros a la derecha:

$$Area\ de\ corte = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} * Y_i + X_i * Y + Y * D_o \right)$$

$$Area\ de\ relleno = \frac{1}{2} \left(Y_d * \frac{B}{2} - D_o * Y_d \right)$$

Sección con ceros en el eje:

$$Area\ de\ corte = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} * Y_i \right)$$

$$Area\ de\ relleno = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} * Y_d \right)$$

Sección con ceros a la izquierda:

$$\text{Area de corte} = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} * YI - Yi * Do \right)$$

$$\text{Area de relleno} = \frac{1}{2} \left(Do * Y + Y * Xd + Yd * \frac{B}{2} \right)$$

14.3 CALCULO DE VOLUMENES

Se puede proceder a calcular el volumen correspondiente entre ellas. Para que dicho volumen se pueda calcular fácilmente, será necesario suponer que entre cada par de secciones consecutivas existe un sólido geométrico compuesto de elementos conocidos o identificables. En este sentido, el sólido que más se aproxima a esta configuración es el Prismoide. Ilustración 79

Donde:

V = Volumen del prismoide (m³)

$A1$ = Área de la sección inicial (m²)

$A2$ = Área de la sección final (m²)

L = Distancia entre secciones (m)

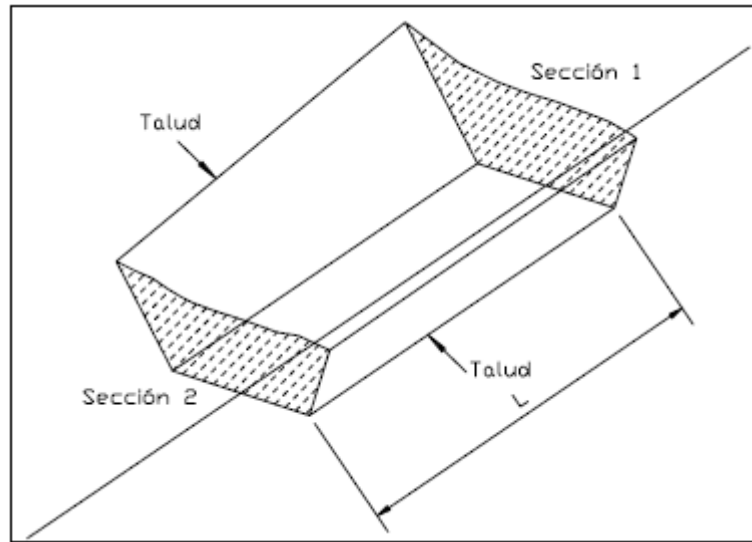
A_m = Área de la sección situada en $L/2$.

Suponiendo que A_m es igual al promedio de $A1$ y $A2$ se puede emplear la expresión:

Para calcular el volumen del prismoide se emplea la siguiente expresión:

$$V = \frac{L(A1 + A2)}{2}$$

Ilustración 79. Prismoide



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

Cuando las áreas A1 Y A2 difieren bastante y no son muy pequeños se tiene que:

$$V = \frac{L(A1 + A2)}{2} - \frac{L(Y1 - Y2)(X1 - X2)}{12}$$

Cuando las secciones están localizadas dentro de una curva circular se recomienda realizar el ajuste por curvatura, el cual puede ser negativo o positivo, calculado de la siguiente manera:

$$C_c = \frac{L(A1 * E1 + A2 * E2)}{2R}$$

Donde:

L = Distancia entre secciones (m)

A1 = Área de la sección inicial (m²)

A2 = Área de la sección final (m²)

$E1$ = Excentricidad de la sección inicial (m)

$E2$ = Excentricidad de la sección final (m)

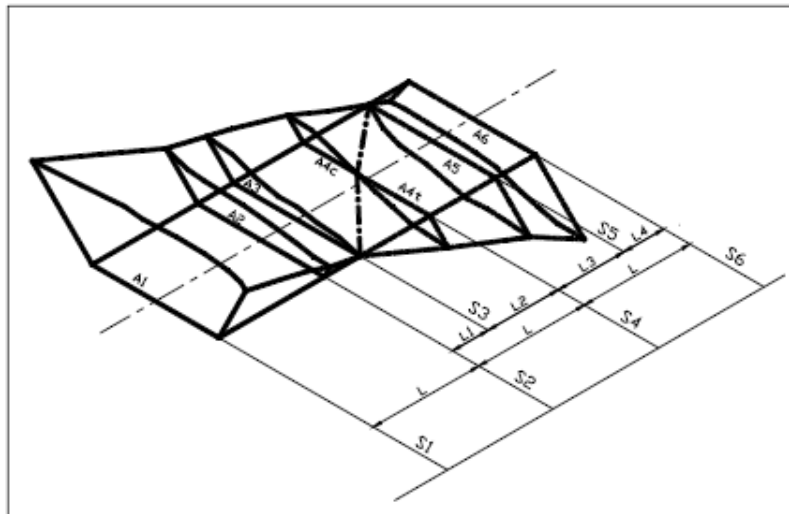
R = Radio de la curva circular (m)

Cuando se presentan secciones mixtas no se acostumbra realizar correcciones por curvatura o prismoidal, pero en este caso se emplea la fórmula del tronco de pirámide, dada por:

$$V = \frac{L(A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2})}{3}$$

El volumen entre las diferentes secciones de la ilustración 80 se calcula de la siguiente manera:

Ilustración 80. Calculo de volúmenes



Fuente: AGUDELO John Jairo Diseño geométrico de vías

S1-S2

$$V = \frac{L(A1 + A2)}{2}$$

S2-S3

$$V = \frac{L1(A2 + A3)}{2}$$

S3-S4

Corte:

$$V = \frac{L2(A3 + A4c + \sqrt{A3 * A4c})}{3}$$

Lleno:

$$V = \frac{L2 * A4t}{3}$$

S4-S5

Corte:

$$V = \frac{L3 * A4c}{3}$$

Lleno:

$$V = \frac{L3(A4t + A5 + \sqrt{A4t * A5})}{3}$$

S5-S6

$$V = \frac{L4(A5 + A6)}{2}$$

15. CONTROL DE INFORMES

15.1 CONTENIDO MÍNIMO DEL INFORME DE DISEÑO GEOMÉTRICO

Los volúmenes correspondientes al diseño geométrico de la carretera deben incluir, como mínimo, lo que se indica a continuación.

15.1.1 Proyecto de una carretera Secundaria y Terciaria El volumen correspondiente al diseño geométrico de carreteras Secundarias y Terciarias debe contener, como mínimo, lo siguiente:

- Introducción y/o antecedentes del estudio.
- Información de la cartografía utilizada.
- Ubicación geográfica y características socioeconómicas de la zona de influencia de la carretera.
- Descripción de los corredores de ruta estudiados. Características topográficas, geológicas, de estabilidad geotécnica, hidrológicas, de hidráulica de cauces, ambientales, etc.
- Sectorización y características geométricas generales de los tramos de comportamiento homogéneo tales como longitud, pendiente media y velocidad de diseño del tramo.

Trabajos topográficos

- Identificación de placas IGAC para coordenadas.
- Identificación de placas de nivelación.
- Ubicación de puntos de estación o bases de topografía.
- Referenciación de la línea de base o línea que une las bases de topografía.

- Nivelación y control de la nivelación de la línea de base.
- Criterios para toma de topografía en la faja del corredor de ruta.

Parámetros generales adoptados para el diseño geométrico

- Identificación de los tramos homogéneos a lo largo del corredor de ruta.
- Velocidad de diseño asignada a cada tramo.
- Cuadro con la Velocidad Específica asignada a las curvas horizontales en cada Tramo homogéneo.
- Pendiente máxima y longitud crítica de las tangentes verticales en cada tramo homogéneo.
- Especificaciones de la sección transversal en cada tramo homogéneo.
- Sectores con distancia de visibilidad de adelantamiento.
- Criterios de consistencia del trazado y armonía con el paisaje.

Información para la localización del eje definitivo en planta

- Listado de las bases de topografía utilizadas para el levantamiento topográfico del corredor de ruta, con su correspondiente referenciación e información:
 - Identificación de la base de topografía.
 - Coordenadas X, Y, Z.
 - Plano reducido con el índice de planos a escala 1:10.000.
 - Planos Planta – perfil, incluyendo la señalización vial, a escala horizontal 1:1.000 y vertical 1:100.
 - Planos con el dibujo de las secciones transversales a escala 1:100 tanto horizontal como vertical.
 - Planos con el diseño de las intersecciones.
 - Cartera de rasante de la calzada.
 - Cartera de chaflanes.

- Cartera de cubicación.

15.2 MODELOS BÁSICOS DE CARTERAS Y PLANOS

Durante las etapas en las que se evalúa la viabilidad económica de un proyecto vial, se registra información de campo en libretas o carteras la cual se puede registrar de la siguiente manera:

- Cartera de línea de pendiente.
- Cartera de localización del eje definitivo en planta.
- Cartera de nivelación.
- Cartera de rasante.
- Cartera de movimiento de tierra.
- Cartera de chaflanes.

15.3 MODELOS DE PLANOS

Los planos relacionados con el diseño geométrico de una carretera son:

- Ubicación geográfica del proyecto.
- Planta y perfil reducido.
- Planta y perfil de detalle.
- Intersecciones.
- Secciones tipo.
- Perfiles transversales.

A continuación, se realiza una descripción acerca del contenido de cada uno de ellos:

Ubicación geográfica del proyecto

Se debe indicar la ubicación dentro del territorio nacional y a nivel local, de tal manera que con este plano se pueda acceder, sin requerir información adicional, a la zona de la obra.

Planta y perfil reducido

Deben permitir identificar, de forma rápida, los distintos aspectos generales de la planta tales como: accesos, posición de obras especiales como muros de contención y estructuras importantes, túneles, intersecciones y características

generales del relieve de la vía principal. Se deben presentar a escala 1:10.000 y tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Planta**

- Presentar únicamente el eje o los ejes diseñados, abscisados cada cien metros (100 m).
- Presentar las vías existentes con el fin de analizar la condición presente con la condición proyectada.
- La topografía será representada mediante curva de nivel cada cinco metros (5 m).
- Es fundamental detallar el orden de los planos de detalle, para lo cual se dibujarán recuadros con su respectiva numeración, que representen el tramo detallado y su orientación con respecto al diseño completo.

- **Perfil**

- La totalidad del perfil se delimitará mediante una cuadrícula que contenga el abscisado general del proyecto y las cotas en que éste se encuentre.
- Adicional a lo anterior, es necesario identificar claramente las abscisas y cotas, longitudes de las curvas verticales y pendientes de las tangentes verticales.

Planta y perfil de detalle

Este plano permite la identificación y localización del diseño vial completo, el análisis y funcionalidad del mismo y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

La presentación de los planos debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Planta**

- La cartografía sobre la que se proyecta el trazado debe tener como mínimo la siguiente información: cuadrícula correspondiente a las coordenadas del plano cada cien metros (100 m), indicación de la dirección del Norte y las coordenadas planas de un punto específico.
- Representación del eje o ejes de diseño abscisados cada diez metros (10 m), y en los puntos especiales (TE, EC, CE, ET y otros).
- Representación de la calzada y de la corona, diferenciándolas tanto en color como en intensidad de la línea que represente el eje de diseño. Así mismo se deberá representar mediante líneas el ancho de zona o derecho de vía.
- Representación a nivel de esquema de las obras de drenaje, muros de contención, puentes, etc., con sus respectivas abscisas de ubicación y parámetros básicos.
- Cuadro resumen con los elementos de curvatura para las curvas visibles en el plano.

- **Perfil**

- Representación gráfica del perfil longitudinal del terreno por el eje de diseño.
- Representación gráfica de los perfiles longitudinales del terreno por las medias bancas, tanto izquierda como derecha.
- Representación de la línea del perfil longitudinal de la rasante en el eje, con la inclusión de los vértices y las curvas verticales. Además, se debe indicar los puntos inicial y final de cada curva.
- Ubicación esquemática de obras de drenaje, muros de contención, puentes, y demás estructuras de importancia.
- La escala vertical de los perfiles longitudinales debe ser diez (10) veces la horizontal.

- El dibujo del perfil longitudinal debe tener suficientes líneas de referencia que permitan apreciar las diferencias de cotas entre el terreno y la rasante en cualquier abscisa. El paso de las líneas de referencia debe ser un número entero fácil de interpretar y la distancia entre ellos del orden de diez metros (10 m) para las abscisas y un metro (1 m) para las cotas.
- Se debe representar gráficamente el diagrama de peraltes, con el fin de detectar errores en la definición analítica de los mismos. La escala vertical para el diagrama de transición de peraltes será de un milímetro (1 mm) por cada punto porcentual (%). La escala horizontal será la misma que la empleada para el perfil longitudinal.

Secciones transversales

El objeto de este plano es permitir analizar la integración de la vía sobre el terreno. No es necesario colocar los aspectos propios de la sección típica, ni la inclusión de los ejes de escala y acotaciones numéricas de los puntos del perfil. Los criterios de presentación se enuncian a continuación:

- Para vías en doble calzada, se debe representar la sección conjunta, con el fin de facilitar su análisis.
- Se debe presentar el plano de secciones transversales a la escala necesaria para su correcta interpretación. Esta debe ser la misma, tanto horizontal como vertical, así como la misma en todos los planos y debe ser de 1:100. Se aceptarán escalas menores en casos de secciones anchas con volúmenes altos de movimiento de tierras.
- Se debe representar la línea del terreno natural.
- Las secciones se deben identificar por su abscisa, con el fin de reflejar mejor su ubicación dentro del alineamiento.

- En cada sección transversal, además de la abscisa, se debe representar la cota en el eje de la rasante de calzada (Cota Roja) y su proyección sobre el terreno natural (Cota Negra).
- Para cada sección se deberán entregar los valores de peralte para cada lado de la calzada expresados en porcentaje (%), y las cotas en el borde de corona.
- Para cada sección se deberá entregar los valores de área para corte y relleno, así como los respectivos volúmenes entre secciones.
- Las secciones se deben dibujar para abscisas espaciadas cada diez metros (10 m) y en los puntos principales del eje en planta.
- El número de secciones representadas en una misma hoja debe ser el máximo posible siempre que no se produzca excesiva acumulación de datos.

16. CONCLUSIONES

El diseño del proyecto presento un paso a paso didáctico y de fácil entendimiento para que cada estudiante y profesional tuviera total seguridad y claridad al momento de querer realizar el diseño de una vía secundaria y terciaria a nivel nacional.

A su vez, gracias a la investigación e identificación de los factores primordiales de una carretera, se asegura al lector que la información contenida en los lineamientos dados a lo largo del proyecto es de fuentes totalmente confiables y con una explicación completamente detallada de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO OSPINA John Jairo, Diseño geométrico de vías, ajustada al manual Colombiano, 2002.

CARDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Vías. Primera Edición: Bogotá D.C., 2002.

CHOCONTA ROJAS Pedro Antonio, Diseño geométrico de vías, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Bogotá; Ministerio de Transporte, 2008.

MANUAL DE DISEÑO AASHTO. 2001