



REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO



Manual de Diseño Geométrico de Carreteras



2008





REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras



2008





REPÚBLICA DE COLOMBIA

ÁLVARO URIBE VELEZ
Presidente de la República

ANDRÉS URIEL GALLEGO HENAO
Ministro de Transporte

DANIEL ANDRÉS GARCÍA ARIZABALETA
Director General - Instituto Nacional de Vías

JUAN GABRIEL BERON ZEA
Secretario General Técnico - Instituto Nacional de Vías

ERNESTO DONADO POLO
Subdirector de Apoyo Técnico - Instituto Nacional de Vías

ALFONSO MONTEJO FONSECA
Supervisor

EL ALCÁZAR LIMITADA
Consultor

GRUPO DE TRABAJO DEL CONSULTOR

ALFONSO MURGUEITIO VALENCIA
Director del Estudio

CARLOS IGNACIO PAZ ACHIPIZ
Ingeniero Especialista

JORGE HERNÁN FLÓREZ GÁLVEZ
Ingeniero Especialista

NIXON ALEXANDER CORREA MUÑOZ
Ingeniero Especialista

EFRAÍN DE JESÚS SOLANO FAJARDO
Ingeniero Especialista

CARLOS ALBERTO ARBOLEDA VÉLEZ
Ingeniero Especialista

NELSON RIVAS MUÑOZ
Ingeniero Especialista

ASESORES DEL CONSULTOR

James Cárdenas Grisales
Fernando Delgado Velasco
Aldemar José González Fernández
José Fernando Sánchez Ordoñez
Nancy Paola González Idrobo

ASESOR DE LA SUPERVISIÓN

Antonio López Rodríguez

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS	4
1.2.1. Según su funcionalidad	5
1.2.1.1. Primarias	5
1.2.1.2. Secundarias	5
1.2.1.3. Terciarias	5
1.2.2. Según el tipo de terreno	5
1.2.2.1. Terreno plano	5
1.2.2.2. Terreno ondulado	6
1.2.2.3. Terreno montañoso	6
1.2.2.4. Terreno escarpado	6
1.3. PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE UNA CARRETERA	7
1.3.1. Proyecto de carreteras nuevas	7
1.3.1.1. Introducción	7
1.3.1.2. Carreteras Primarias	9
1.3.1.2.1. Actividades de la Fase 1. Pre – Factibilidad	9
1.3.1.2.2. Actividades de la Fase 2. Factibilidad	13
1.3.1.2.3. Actividades de la Fase 3. Diseños definitivos	18
1.3.1.3. Carreteras Secundarias y Terciarias	21
1.3.2. Proyecto del mejoramiento de carreteras existentes	27

1.3.2.1. Justificación de un proyecto de mejoramiento	27
1.3.2.2. Criterios generales	27
1.3.2.3. Fases y actividades para el diseño geométrico del mejoramiento	28
1.3.2.4. Especificaciones para el diseño geométrico del mejoramiento	34
CAPITULO 2. CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO	35
2.1. VELOCIDAD DE DISEÑO	37
2.1.1. Criterios generales para establecer la consistencia de la velocidad a lo largo del trazado de la carretera	37
2.1.2. Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (V_{TR})	37
2.1.3. Velocidad Específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil	38
2.1.3.1. Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH})	40
2.1.3.1.1. Criterios para la asignación de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH})	40
2.1.3.1.2. Procedimiento para la asignación de la Velocidad Específica de la curva horizontal	45
2.1.3.2. Velocidad en la entretangencia horizontal (V_{ETH})	46
2.1.3.3. Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV})	47
2.1.3.4. Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})	47
2.2. VEHÍCULO DE DISEÑO	50
2.2.1. Aspectos generales	50
2.2.2. Tipos de vehículos	50
2.2.2.1. Nomenclatura	50
2.2.2.2. Dimensiones y trayectorias de giro	51

2.3.	DISTANCIAS DE VISIBILIDAD	51
2.3.1.	Distancia de visibilidad de parada (D_P)	58
2.3.2.	Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a)	61
2.3.3.	Distancia de visibilidad de cruce (D_C)	65
2.3.4.	Procedimiento para verificar el cumplimiento de las distancias de visibilidad	68
2.3.4.1.	Evaluación y presentación de la visibilidad en planta	69
2.3.4.2.	Evaluación de la visibilidad en perfil	69
 CAPITULO 3. DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA		71
3.1.	CURVAS HORIZONTALES	73
3.1.1.	Empalmes básicos. Descripción y cálculo de los elementos geométricos	73
3.1.1.1.	Empalme circular simple	74
3.1.1.2.	Empalme espiral clotoide	75
3.1.1.3.	Empalme espiral – círculo - espiral	79
3.1.1.4.	Empalme espiral - espiral	83
3.1.1.5.	Empalme en “S”. (Espiral – espiral inversa)	84
3.1.1.6.	Empalme en “C”. (Espiral que une dos círculos de igual sentido)	86
3.1.2.	Aplicación y combinación de los empalmes básicos	89
3.1.2.1.	Curvas horizontales constituidas por un único empalme básico	93
3.1.2.1.1.	Curva Tipo 1. Circular simple	93
3.1.2.1.2.	Curva Tipo 2. Espiral – círculo – espiral	94

3.1.2.1.3.	Curva Tipo 3. Espiral – espiral	95
3.1.2.2.	Curvas horizontales constituidas por la combinación de varios empalmes básicos	96
3.1.2.2.1.	Curva Tipo 4. Curva en “S”	96
3.1.2.2.2.	Curva Tipo 5. Curva en “C”	98
3.1.2.2.3.	Curva Tipo 6. Curva en “Doble C”	100
3.1.3.	Relación entre la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}), el Radio de curvatura (R_C) y el Peralte (e)	102
3.1.3.1.	Ecuación de equilibrio	102
3.1.3.2.	Peralte máximo ($e_{m\acute{a}x}$)	103
3.1.3.2.1.	Para carreteras Primarias y Secundarias	103
3.1.3.2.2.	Para carreteras Terciarias	103
3.1.3.3.	Fricción transversal máxima ($f_{Tm\acute{a}x}$)	103
3.1.3.4.	Radio de curvatura mínimo ($R_{Cm\acute{i}n}$)	104
3.1.3.5.	Valor del Peralte (e) en función de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y el Radio de curvatura adoptado (R_C)	105
3.1.3.5.1.	Carreteras Primarias y Secundarias	106
3.1.3.5.2.	Carreteras Terciarias	107
3.2.	TRANSICIÓN DEL PERALTE	108
3.2.1.	Rampa de peralte	108
3.2.2.	Longitud de transición	110
3.2.2.1.	En curvas circulares	112
3.2.2.2.	En curvas con espiral de transición	112
3.2.3.	Métodos para realizar la transición del peralte	113
3.2.3.1.	Rotación de la calzada respecto al eje de la carretera	113

3.2.3.2. Rotación de la calzada respecto a uno de sus bordes	113
3.2.3.3. Rotación en carreteras de dos calzadas	115
3.3. LONGITUD DE LA CURVA ESPIRAL	117
3.3.1. Longitud mínima	117
3.3.2. Longitud máxima	119
3.4. ENTRETANGENCIA HORIZONTAL	119
3.4.1. Entretangencia mínima	119
3.4.2. Entretangencia máxima	120
3.5. RELACIÓN ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS HORIZONTALES CONTIGUAS	120
3.6. LONGITUD MÍNIMA DE LA CURVA CIRCULAR	122
3.7. CURVAS HORIZONTALES QUE NO REQUIEREN ESPIRAL DE TRANSICIÓN	123
CAPITULO 4. DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA	125
4.1. TANGENTE VERTICAL	127
4.1.1. Pendiente mínima	127
4.1.2. Pendiente máxima	127
4.1.3. Longitud mínima	129
4.1.4. Longitud máxima	129
4.1.4.1. Longitud crítica de la tangente vertical	129
4.1.4.2. Pendiente de la tangente vertical siguiente a la de longitud crítica	131
4.2. CURVAS VERTICALES	131
4.2.1. Tipos de curvas verticales	132

4.2.2. Descripción y cálculo de los elementos geométricos	132
4.2.2.1. Elementos geométricos de la curva vertical simétrica	132
4.2.2.2. Elementos geométricos de la curva vertical asimétrica	134
4.2.3. Determinación de la longitud de la curva vertical	136
4.2.3.1. Curva convexa	137
4.2.3.2. Curva cóncava	139
4.2.4. Distancia de visibilidad bajo estructuras	142
 CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA	 145
5.1. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	147
5.2. ANCHO DE ZONA O DERECHO DE VÍA	147
5.3. CORONA	147
5.3.1. Calzada	151
5.3.1.1. Ancho de calzada	151
5.3.1.2. Pendiente transversal en entretangencias horizontales	151
5.3.2. Bermas	152
5.3.2.1. Ancho de berma	153
5.3.2.2. Pendiente transversal	153
5.4. SOBREALCHO EN LAS CURVAS	153
5.4.1. Determinación del sobreancho	154
5.4.1.1. Vehículos rígidos	154
5.4.1.2. Vehículos articulados	157
5.4.2. Transición del sobreancho	160

5.5.	VALOR DE LA FLECHA (M) PARA PROVEER LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN CURVA	161
5.6.	CUNETAS	162
5.6.1.	Cunetas revestidas en concreto	162
5.6.2.	Cunetas sin revestir (cunetas en tierra)	163
5.7.	TALUDES	163
5.8.	CARRILES ESPECIALES DE ASCENSO	163
5.9.	ANDENES Y SENDEROS PEATONALES	165
5.10.	SEPARADORES DE CALZADA	165
5.11.	LÍNEA DE CHAFLANES	166
CAPITULO 6. INTERSECCIONES A NIVEL Y DESNIVEL		167
6.1.	INTRODUCCIÓN	169
6.2.	PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN VIAL	169
6.2.1.	Criterios generales	169
6.2.2.	Dimensionamiento preliminar de las alternativas	170
6.2.3.	Diseño definitivo de la intersección	171
6.3.	ESQUEMAS DE INTERSECCIONES FRECUENTES EN CARRETERAS Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO	172
6.3.1.	Intersecciones a nivel	172
6.3.1.1.	Sin canalizar	172
6.3.1.2.	Canalizadas	173
6.3.1.3.	Glorietas	183
6.3.2.	Intersecciones a desnivel	185

6.3.2.1. Esquemas básicos	185
6.3.2.2. Criterios básicos de diseño	190
6.4. PASOS A DESNIVEL PARA PEATONES	194
CAPITULO 7. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CASOS ESPECIALES	197
7.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DE PUENTES	199
7.1.1. Gálibo	200
7.1.2. Criterios de diseño geométrico	200
7.1.2.1. Diseño en planta	200
7.1.2.2. Diseño en perfil	201
7.1.2.3. Sección transversal	202
7.2. DISEÑO GEOMÉTRICO DE TÚNELES	202
7.2.1. Generalidades	203
7.2.2. Sentidos de circulación vehicular	203
7.2.2.1. Una galería	203
7.2.2.2. Doble galería	204
7.2.3. Velocidad de diseño	204
7.2.4. Criterios de diseño geométrico	206
7.2.4.1. Alineamiento horizontal	206
7.2.4.2. Alineamiento vertical	207
7.2.4.3. Sección transversal	207
7.2.5. Elementos complementarios	208
7.3. PASO POR ZONAS URBANAS Y SUBURBANAS	209
7.3.1. Por zonas suburbanas	209

7.3.2. Por zonas urbanas	210
 CAPITULO 8. CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA	 211
8.1. CRITERIOS GENERALES PARA GARANTIZAR LA ADECUADA INTERACCIÓN DEL DISEÑO EN PLANTA, EN PERFIL Y EN SECCIÓN TRANSVERSAL	214
8.1.1. Combinaciones indeseables	214
8.1.2. Combinaciones recomendadas	217
8.2. CRITERIOS GENERALES PARA GARANTIZAR LA ADECUADA INTERACCIÓN DE LA CARRETERA CON SUS INTERSECCIONES Y DEMÁS ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS	219
8.2.1. Puentes e Intersecciones	219
8.2.2. Elementos de drenaje	223
8.2.3. Iluminación	224
8.2.4. Redes de servicios	225
8.3. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LOGRAR UN DISEÑO ESTÉTICO Y ARMONIOSO CON EL PAISAJE	225
8.3.1. Corredor de ruta	227
8.3.2. Alineamiento horizontal	227
8.3.3. Alineamiento vertical	227
8.3.4. Sección transversal	227
8.3.5. Intersecciones y estructuras complementarias	229
8.3.5.1. Con ubicación directamente sobre la carretera	230
8.3.5.2. Con ubicación a los lados de la carretera	230
8.3.5.3. Con ubicación no visible desde la carretera	230

8.3.6. Plantaciones	231
8.3.7. Proceso constructivo	231
 CAPITULO 9. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	 233
9.1. ASPECTOS GENERALES	235
9.1.1. Control de producción	235
9.1.2. Control de recepción	235
9.1.3. Control de diseño del servicio o de la elaboración de la propuesta técnica	235
9.2. NIVELES DE CALIDAD	238
9.3. CONTROL DE PROCESOS	239
9.3.1. Enfoque sistémico	239
9.3.2. Criterios generales de control	240
9.3.2.1. Especificaciones	240
9.3.2.2. Procesamiento de la información numérica	240
9.3.2.3. Informes y planos	242
9.4. CONTROL DE INFORMES	242
9.4.1. Contenido mínimo del informe de diseño geométrico	242
9.4.1.1. Proyecto de una carretera Primaria	243
9.4.1.1.1. Informe de Fase 1. Pre – Factibilidad	243
9.4.1.1.2. Informe de Fase 2. Factibilidad	243
9.4.1.1.3. Informe de Fase 3. Diseño definitivo	246
9.4.1.2. Proyecto de una carretera Secundaria y Terciaria	247

9.4.2. Modelos básicos de carteras y planos	249
9.4.2.1. Modelos de carteras	249
9.4.2.2. Modelos de planos	256
9.5. CONTROL DE CALIDAD FINAL	261
 GLOSARIO DE TÉRMINOS	 269
 BIBLIOGRAFÍA	 275

LISTA DE FIGURAS

1.1.	Diseño geométrico del mejoramiento. Ejemplo.	31
1.2.	Ubicación de obras de drenaje. Ejemplo	32
1.3.	Plano con linderos y predios. Ejemplo	34
2.1a.	Asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales V_{CH} – Diseño preliminar del eje en planta. Determinación de la longitud de los segmentos rectos.	48
2.1b.	Asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales V_{CH} – Asignación de la V_{CH} en uno y otro sentido de circulación	49
2.2.	Dimensiones y trayectorias de giro para Vehículo liviano	52
2.3.	Dimensiones y trayectorias de giro para Bus mediano	53
2.4.	Dimensiones y trayectorias de giro para Bus grande	54
2.5.	Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 2	55
2.6.	Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 3	56
2.7.	Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 3 S2	57
2.8.	Distancia de visibilidad de adelantamiento	61
2.9.	Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad	66
2.10.	Evaluación y presentación de las distancias de visibilidad en planos	70
3.1.	Elementos del empalme circular simple	74
3.2.	Elementos del empalme espiral clotoide	76
3.3.	Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (simétrico)	80
3.4a.	Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)	81
3.4b.	Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)	81

3.4c. Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)	82
3.5. Elementos del empalme espiral – espiral	83
3.6. Elementos del empalme en “S”	85
3.7. Elementos del empalme en “C”	86
3.8. Mensaje de inicio aplicación CURVAS	90
3.9. Entorno general aplicación CURVAS	91
3.10. Datos de entrada básicos para el cálculo de curvas horizontales	92
3.11. Salida gráfica de la curva Tipo 1. Circular simple	94
3.12. Salida gráfica de la curva Tipo 2. Espiral – circular – espiral	95
3.13. Salida gráfica de la curva Tipo 3. Espiral – espiral	96
3.14. Salida gráfica de la curva Tipo 4. Curva en “S”	98
3.15. Salida gráfica de la curva Tipo 5. Curva en “C”	100
3.16. Salida gráfica de la curva Tipo 6. Curva en “doble C”	102
3.17. Desarrollo del peralte	109
3.18. Disposición de los carriles que giran respecto a su eje de rotación	111
3.19. Diagrama de transición de peraltes para curvas circulares	112
3.20. Diagrama de transición de peraltes para curvas con espiral de transición	113
3.21a. Calzada girada alrededor del eje	114
3.21b. Calzada girada alrededor del borde interior	114
3.21c. Calzada girada alrededor del borde exterior	115
3.22. Giros de las calzadas para vías con separador central	116
4.1. Efecto de las pendientes en lo vehículos con relación Peso/potencia de 150 kg/HP	130

4.2.	Efecto de las pendientes en lo vehículos con relación Peso/potencia de 180 kg/HP	131
4.3.	Tipos de curvas verticales cóncavas y convexas	132
4.4.	Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas	133
4.5.	Elementos de la curva vertical simétrica	133
4.6.	Elementos de la curva vertical asimétrica	135
4.7.	Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad	137
4.8.	Elementos para determinar la longitud mínima de la una curva vertical cóncava según el criterio de seguridad	140
4.9.	Distancia de visibilidad bajo estructuras	143
5.1a.	Sección transversal típica en vías de doble calzada	148
5.1b.	Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias	149
5.1c.	Sección transversal típica en vías Terciarias	150
5.2.	Forma alternativa del bombeo en una carretera de dos calzadas	152
5.3.	Sobreancho en las curvas	154
5.4.	Sobreancho de la curva para un carril en carreteras Terciarias	156
5.5.	Sobreancho requerido para una curva al ser recorrida por un vehículo articulado categoría 3S2	158
5.6.	Transición del sobreancho en las curvas	161
5.7.	Elementos geométricos que intervienen en la determinación de la flecha, M	162
5.8.	Sección transversal de una vía con andenes	165
5.9.	Línea de chaflanes	166
6.1.	Esquema base intersección en “T” o “Y”	172
6.2.	Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X”	172

6.3.	Esquema base intersección en “T” o “Y”	173
6.4.	Esquema base intersección en “T” o “Y” con separador y carril de giro a la izquierda	174
6.5.	Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X”	174
6.6.	Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X” con separador y carril de giro a la izquierda	175
6.7.	Esquema de un carril de aceleración	176
6.8.	Esquemas de carriles de desaceleración	178
6.9.	Isletas direccionales	179
6.10.	Isletas separadoras	180
6.11.	Ancho del ramal de salida o de entrada	181
6.12.	Esquema carril de giro a la izquierda	182
6.13.	Aberturas en el separador central	183
6.14.	Esquema básico de una intersección tipo Glorieta	184
6.15.	Esquema base intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras no divididas	186
6.16.	Esquema base intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras divididas	187
6.17.	Esquema base intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras no divididas	188
6.18.	Esquema base intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras divididas	189
6.19.	Deflexión total de un ramal de enlace	191
6.20.	Accesos pasos a desnivel para peatones	195
7.1.	Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes circulares	201
7.2.	Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes con espirales de transición	201

7.3.	Sección típica de una galería de circulación vehicular bidireccional	204
7.4.	Sección típica de doble galería de circulación vehicular unidireccional	205
8.1.	Curvas verticales cóncavas de poca longitud	215
8.2.	Curvas verticales sucesivas	215
8.3.	Reemplazo de tramos rectos cortos por curvas verticales de gran parámetro	216
8.4.	Transición de geometría en sitio con Radios cercanos o iguales al mínimo	217
8.5.	Uso de curvas cóncavas acorde con las pendientes adyacentes	218
8.6.	Curva vertical convexa de mayor longitud que las cóncavas adyacentes	219
8.7.	Curvas verticales cóncavas de mayor longitud que la convexa central	219
8.8.	Localización recomendada de sitios de intersección	220
8.9.	Efecto producido por una bifurcación	221
8.10.	Situaciones indeseables producidas por la ubicación errónea de un puente	222
8.11.	Reducción aparente del ancho de calzada	222
8.12.	Transiciones recomendadas en el ancho del separador central	229
9.1.	Esquema general del plano planta – perfil reducido de la vía	263
9.2.	Esquema general del plano planta – perfil de detalle de la vía	265
9.3.	Esquema general del plano de secciones transversales	267

LISTA DE TABLAS

2.1.	Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno	38
2.2.	Velocidad Específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con Velocidad de Diseño V_{TR}	43
2.3.	Diferencia entre la Velocidad Específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en km/h.	44
2.4.	Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño	51
2.5.	Dimensiones principales de los vehículos de diseño	51
2.6.	Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel	60
2.7.	Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente	60
2.8.	Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento y ejemplos de cálculo	63
2.9.	Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos	64
2.10.	Oportunidades de adelantar por tramos de cinco kilómetros	64
2.11.	Distancias mínimas de visibilidad requeridas a lo largo de una calzada principal con ancho 7.30 m, con dispositivo de control en la calzada secundaria	68
3.1.	Coeficiente de fricción transversal máxima	103
3.2.	Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x} = 8\%$ y fricción máxima	104
3.3.	Radios mínimos para peralte máximo $e_{m\acute{a}x} = 6\%$ y fricción máxima	105
3.4.	Radios (R_C) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{m\acute{a}x} = 8\%$	106
3.5.	Radios (R_C) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{m\acute{a}x} = 6\%$	107

3.6.	Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peralte	110
3.6a.	Factor de ajuste para el número de carriles girados	111
3.7.	Variación de la Aceleración centrífuga (J)	118
3.8.	Ecuaciones de la relación entre Radios de curvas contiguas	121
3.9.	Relación entre Radios de curvas circulares consecutivas sin entretangencia, o con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)	121
3.10.	Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos	123
4.1.	Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (%) en función de la Velocidad de Diseño del Tramo homogéneo (V_{TR})	128
4.2.	Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})	128
4.3.	Longitud mínima de la tangente vertical	129
4.4.	Valores de K para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales	142
5.1.	Ancho de Zona	147
5.2.	Ancho de calzada	151
5.3.	Bombeo de la calzada	152
5.4.	Ancho de bermas	153
5.5.	Dimensiones para el cálculo del sobreancho en los vehículos de tipo rígido	155
5.6.	Dimensiones para el cálculo del sobreancho requerido por el vehículo articulado representativo del parque automotor colombiano	157
5.7.	Valor de C en función del ancho de la calzada	159
5.8.	Criterio para el establecimiento de un carril de ascenso en carreteras	164
6.1.	Longitud mínima del carril de aceleración	177

6.2.	Longitud mínima de un carril de desaceleración	178
6.3.	Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada en función del Radio interior	181
6.4.	Carril de giro a la izquierda	182
6.5.	Criterios de diseño de glorietas	185
6.6.	Velocidad Específica del segmento central del ramal de enlace (V_{RE}) cuando $\Delta < 180^\circ$ (km/h)	192
6.7.	Velocidad Específica del segmento central del ramal de enlace (V_{RE}) cuando $\Delta \geq 180^\circ$ (km/h)	192
6.8.	Longitudes mínimas de entrecruzamiento	193
6.9.	Factores de equivalencia vehicular	193
6.10.	Criterios de diseño geométrico de pasos a desnivel para peatones	194
6.11.	Características recomendables de los accesos a pasos peatonales a desnivel	195
8.1.	Distancias de Visibilidad según la Velocidad Específica del elemento geométrico que se recorre	217
9.1.	Modelo para la caracterización de procesos relacionados con el diseño geométrico de carreteras	241

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES



CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno, no obstante que es posible establecer medios de transporte ya sea de pasajeros o de carga por diferentes medios, las condiciones particulares de cada región, medidas como una suma de factores de tipo económico, social, político y físico, determinan la elección final del modo prioritario a usar.

Colombia no ha sido ajena a este proceso, por lo que en sus diferentes momentos históricos y de desarrollo tecnológico ha acudido a diversos modos y sistemas de transporte con el fin de atender la creciente economía nacional, hasta el momento actual en el que la mayor parte del transporte se desarrolla mediante el uso de las carreteras, consideradas en la mayoría de los casos como ejes articuladores de los diferentes procesos de poblamiento y expansión económica.

Dadas las condiciones geoestratégicas del país, que lo ubican en un lugar prioritario dentro de los procesos de integración regional y de globalización, es necesario contar con una red vial que le permita servir a la demanda de transporte en forma segura, cómoda y eficiente.

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

Los criterios consignados en el presente Manual corresponden a la sistematización de experiencias obtenidas tanto en Colombia como en otras naciones, expresadas en términos de datos puntuales o rangos admisibles y en ningún momento pretende constituir un texto con fines académicos, ni reemplazar la aplicación del conocimiento profesional en el área. En los casos particulares en que no sea posible cumplir a cabalidad con los parámetros aquí estipulados, quedará al buen juicio y justificada sustentación por parte de los responsables del proyecto la decisión de cambios en las características del mismo, siempre y cuando estos no afecten negativamente la seguridad ni la comodidad de los usuarios, ni impliquen exceder significativamente el presupuesto para la ejecución del proyecto.

Con el fin de darle coherencia a la información presentada en este Manual, se ha dividido la información en los siguientes capítulos:

- **CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GENERALES.** Se presenta la clasificación de las carreteras y los elementos metodológicos que constituyen las diferentes fases o etapas del proyecto en general.
- **CAPÍTULO 2 – CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.** Se analizan los criterios y rangos de valores para la selección puntual de los parámetros operacionales que determinarán la geometría del proyecto.
- **CAPÍTULO 3 – DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA.** Se ofrecen criterios para la selección de los elementos geométricos en planta partiendo de los parámetros adoptados para el proyecto.
- **CAPÍTULO 4 – DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA.** En este capítulo se indican los valores según los parámetros operacionales adoptados y la geometría en planta establecida.
- **CAPÍTULO 5 – DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA.** Se hace la descripción de los principales elementos constitutivos de la sección transversal de una carretera y los valores de diseño según los parámetros operacionales del proyecto.
- **CAPÍTULO 6 – INTERSECCIONES A NIVEL Y DESNIVEL.** Se presentan los criterios para la integración coherente y clara entre las variables de diseño geométrico y el tránsito.
- **CAPÍTULO 7 – DISEÑO GEOMÉTRICO DE CASOS ESPECIALES.** Para los casos en que es necesaria la construcción de algunas obras especiales para la carretera, se entregan criterios generales para su diseño geométrico. Los elementos detallados de diseño deberán ser consultados en los respectivos manuales de diseño o la literatura aceptada para cada caso.
- **CAPÍTULO 8 – CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA.** Se entregan recomendaciones para lograr la interacción segura y armoniosa de todos los elementos de diseño de la carretera.
- **CAPÍTULO 9 - ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL DISEÑO GEOMÉTRICO.** Se presentan en forma general los listados de documentos requeridos para la adecuada presentación y sustentación del proyecto geométrico. Adicionalmente se incluyen modelos de carteras y planos.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

Para los efectos del presente Manual las carreteras se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno.

1.2.1. Según su funcionalidad

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

1.2.1.1. Primarias

Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.

Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto.

Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.

1.2.1.2. Secundarias

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.

Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

1.2.1.3. Terciarias

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

1.2.2. Según el tipo de terreno

Determinada por la topografía predominante en el tramo en estudio, es decir que a lo largo del proyecto pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno.

1.2.2.1. Terreno plano

Tiene pendientes transversales al eje de la vía menores de cinco grados (5°). Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. Sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento (3%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

1.2.2.2. Terreno ondulado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados (6° - 13°). Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos livianos, sin que esto los lleve a operar a velocidades sostenidas en rampa por tiempo prolongado.

1.2.2.3. Terreno montañoso

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados (13° - 40°). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en rampa durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.

1.2.2.4. Terreno escarpado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía generalmente superiores a cuarenta grados (40°). Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a ocho por ciento (8%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas y en oportunidades frecuentes.

1.3. PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE UNA CARRETERA

1.3.1. Proyecto de carreteras nuevas

1.3.1.1. Introducción

El propósito específico de estos numerales es enmarcar el diseño geométrico dentro del conjunto de actividades y estudios complementarios que son necesarios para el diseño de una carretera.

La construcción de una carretera Primaria nueva obedece a la necesidad de complementar la malla vial existente para obtener ahorros en el costo del transporte. Como la motivación es fundamentalmente de índole económica y teniendo en cuenta que se requiere una inversión importante, por las altas especificaciones geométricas necesarias para ofrecer el adecuado nivel de servicio al tránsito que haría uso de dicha carretera, es indispensable que la decisión de construirla sea tomada con cautela.

Por lo anterior, el diseño de una carretera Primaria nueva se realiza por fases ó etapas en las que se tiene la posibilidad de evaluar progresivamente la viabilidad económica del proyecto. Tales fases son:

Fase 1. Pre – Factibilidad. En esta Fase se identifican uno ó varios corredores de ruta posibles, se realiza el prediseño aproximado de la carretera a lo largo de cada corredor y, recurriendo a costos obtenidos en proyectos con condiciones similares, se realiza la evaluación económica preliminar, generalmente utilizando el modelo de simulación HDM – 4. En términos simples, la evaluación económica consiste en comparar, a lo largo de un periodo de análisis económico, la suma del costo inicial de construcción, el costo del mantenimiento rutinario y el costo del mantenimiento periódico con los beneficios que se obtendrían, representados mayoritariamente en los ahorros en el costo de la operación vehicular.

El objetivo concreto de la Fase 1 es establecer si el proyecto ofrece posibilidades de ser viable económicamente, es decir, si supera umbrales preestablecidos para indicadores como la relación Beneficio / Costo ó la Tasa Interna de Retorno. Si la evaluación económica no es satisfactoria en ninguno de los corredores estudiados se archiva el proyecto. En caso contrario, se debe continuar afinando los estudios a nivel de Fase 2 en el corredor que presente la mayor rentabilidad.

Fase 2. Factibilidad. En el corredor seleccionado se debe diseñar en forma definitiva el eje en planta de la carretera. La posición de dicho eje deberá ser compatible con el cumplimiento de las especificaciones geométricas tanto del perfil como de las secciones transversales y de todas las estructuras y obras complementarias que se requieran.

Con la trayectoria definitiva en planta del eje de la vía y con los prediseños del eje en perfil, de las secciones transversales, de las obras de drenaje superficial y

subterráneo, de las estructuras como puentes y muros de contención, del pavimento, etc, se procede a la evaluación económica final, generalmente mediante la simulación con el modelo HDM – 4. Esta evaluación se realiza con un mayor grado de confiabilidad por cuanto en ésta Fase ya se cuenta con elementos suficientes tanto para elaborar el presupuesto con menor incertidumbre como para cuantificar los costos de la operación vehicular.

El objetivo concreto de la Fase 2 es la decisión final de continuar ó no con el proyecto dependiendo de su rentabilidad. Si éste resulta rentable se debe continuar con la elaboración de los diseños definitivos de la carretera a partir del eje ya definido. Tales diseños constituyen la Fase 3 del proyecto.

Fase 3. Diseños Definitivos. Como se acaba de mencionar, en ésta Fase se elaboran los diseños detallados, tanto geométricos como de todas las estructuras y obras complementarias que se requieran, de tal forma que un constructor pueda materializar la carretera.

En el otro extremo de la jerarquía vial se encuentran las carreteras Terciarias cuya construcción pretende básicamente desarrollar zonas potencialmente productivas u ofrecer posibilidades de bienestar a núcleos de población atrasados por la carencia de una vía de comunicación terrestre. En ambos casos la decisión de construir la carretera es de carácter eminentemente político, respetando, claro está, el orden de prioridades establecido por las autoridades gubernamentales.

Una vez tomada la decisión de construir la vía se procede a la elaboración de los diseños, de manera continua, hasta su nivel de detalle. La metodología para una carretera Terciaria nueva es una versión simplificada y en una sola etapa del método que se desarrolla en tres fases cuando se trata de vías Primarias. El método de diseño por Localización Directa solo se recomienda cuando el trazado sea en terreno plano.

Con relación a las carreteras Secundarias es poco frecuente el caso de construir una carretera nueva con el carácter de Secundaria. Por lo general éstas carreteras son el resultado del mejoramiento continuo que en el transcurso de los años se realiza a carreteras que originalmente fueron Terciarias. El método de diseño de rectificaciones y mejoras de vías existentes es una adaptación del método aplicable a carreteras Terciarias y sus actividades obviamente dependen de la naturaleza y magnitud de los trabajos a realizar en cada caso particular.

En los apartados siguientes se presenta una breve descripción de las actividades principales que se deben llevar a cabo para la realización del proyecto de una carretera Primaria y de una carretera Secundaria ó Terciaria. Dichas secuencias metodológicas son de carácter general y no consideran la totalidad de las actividades requeridas. Su inclusión en este Manual obedece a la conveniencia de hacer énfasis en que las decisiones asociadas al diseño geométrico deben ser tomadas en estrecha concordancia con las condiciones prevalecientes en cuanto a la geología, la geotecnia, la hidrología e hidráulica de cauces, las facilidades para

el emplazamiento y construcción de las estructuras viales e intersecciones, las fuentes de materiales y las afectaciones al medio ambiente.

1.3.1.2. Carreteras Primarias

1.3.1.2.1. Actividades de la Fase 1. Pre – Factibilidad

1) Adquisición de la cartografía existente de la zona del proyecto

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

2) Estudio de tránsito

El estudio debe estimar la probable demanda de tránsito en un horizonte de análisis de veinte (20) años a partir del año de entrada en operación de la carretera. Períodos de análisis mayores implicarían un excesivo grado de incertidumbre en la proyección. El estudio de tránsito debe indicar el Volumen Horario de Demanda (VHD) en el año veinte y su composición vehicular.

3) Identificación, con base en la información cartográfica, de los posibles corredores de ruta

Se deben considerar, como mínimo, los siguientes aspectos: la estabilidad geológica, la pendiente transversal del terreno (clasificándolo en plano, ondulado, montañoso ó escarpado), la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, el número de cauces mayores, opciones de sitios de cruce de líneas divisorias de aguas (puertos secos) y ponteaderos, posibilidad de fuentes de materiales y zonas de vida ó ecosistemas.

Se puede presentar que por las características topográficas de la zona no sea evidente el desarrollo de algún corredor que se desea analizar. Para ayudar a delimitarlo con más precisión se deben establecer, sobre restituciones, los puntos secundarios de control y entre ellos trazar una línea de ceros provisional. Para ello se puede asumir, a título de una primera aproximación, la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) asociada a la Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) que se considere apropiada para ese tipo de terreno. La definición de Pendiente Media Máxima del corredor de ruta se presenta en el paso 7) de esta secuencia.

4) Reconocimiento aéreo

Si el proyecto lo amerita y se considera prudente confirmar premisas asumidas con base en la cartografía, se deben realizar reconocimientos aéreos que permitan ratificar ó descartar la viabilidad de corredores de ruta propuestos.

Los pasos siguientes se deben llevar a cabo para cada uno de los corredores de ruta propuestos.

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

El principal criterio es la homogeneidad en el tipo de terreno. Las fronteras entre tramos son puntos secundarios de control adicionales. Se debe tener en cuenta el criterio de longitud mínima de un tramo homogéneo, consignado en el numeral 2.1.1 de este Manual.

6) Asignación de la Velocidad de Diseño preliminar a cada tramo homogéneo

A cada uno de los tramos homogéneos identificados se le debe asignar una Velocidad de Diseño preliminar conforme a los criterios establecidos en el numeral 2.1.1 y en la Tabla 2.1.

7) Trazado de la línea de ceros sobre las restituciones 1:10.000

Sin exceder la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) asociada a la Velocidad de Diseño preliminar asignada a cada tramo homogéneo, se debe trazar la línea de ceros entre los puntos secundarios de control considerados como fronteras entre tramos homogéneos.

La Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en un determinado Tramo Homogéneo debe ser menor que la pendiente máxima permitida para una tangente vertical incluida en dicho Tramo Homogéneo. El valor de la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en ningún caso puede ser superior a siete por ciento (7%) y sus valores se indican en la Tabla 4.1 del presente Manual.

Si la pendiente media del corredor es menor que la máxima permitida para una tangente vertical es poco probable que, al momento de realizar el diseño en perfil del eje de la carretera, se presenten dificultades para cumplir la especificación de pendiente máxima de una tangente vertical.

El requisito que establece que la pendiente media del corredor de ruta no debe superar siete por ciento (7%) tiene sentido fundamentalmente en el caso del proyecto de una carretera Terciaria. En estas carreteras, por su categoría, se permiten pendientes fuertes, las que se pueden diseñar sin objeción mientras

la vía sea Terciaria. Si con el paso de los años es necesario mejorar sus especificaciones geométricas, será posible ensanchar la corona y ampliar el Radio de las curvas, pero no disminuir la pendiente ya que una variante con pendientes menores difícilmente volvería a empalmar más adelante con la carretera existente.

Es claro que en un principio se requiere mayor longitud para superar iguales desniveles, pero esta situación se verá compensada cuando al momento del mejoramiento de la carretera no sea inexorable el abandono del corredor, con todo el desarrollo social y económico logrado durante el transcurso del tiempo.

8) Reconocimiento terrestre

Una vez trazada la línea de ceros sobre las restituciones se debe llevar a cabo un reconocimiento terrestre con el propósito de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía.

Para conceptuar si la línea de ceros es factible, se debe establecer, con un altímetro, la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con el desarrollo de dicha línea, medido sobre las mismas restituciones, se debe calcular la Pendiente Media del corredor entre puntos de control y constatar, sobre la realidad del terreno, si se supera o no la máxima permitida según la Velocidad de Diseño asignada al tramo homogéneo.

Además, se debe analizar la estabilidad geológica y la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, las condiciones reales de los puertos secos y ponteaderos definidos como puntos secundarios de control, las posibles fuentes de materiales, las zonas de vida ó ecosistemas y todos los demás aspectos que el grupo de especialistas a cargo de la Fase de Pre-factibilidad considere necesario valorar.

9) Ajuste de los tramos considerados homogéneos y de las velocidades de diseño preliminares que les fueron asignadas

Si las conclusiones del reconocimiento terrestre indican la necesidad de llevar a cabo modificaciones, que podrían consistir, a manera de ejemplo, en el descarte total o parcial de un corredor de ruta, en desplazamientos de ponteaderos, sitios de cruce de líneas divisorias de aguas (puertos secos) ó fronteras entre tramos homogéneos y/o en cambios en las Velocidades de Diseño preliminares consideradas para dichos tramos, el procedimiento se debe revisar desde el paso cinco.

10) Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio

Una vez que el resultado del reconocimiento terrestre permita concluir que los tramos considerados homogéneos y sus velocidades asignadas como

preliminares no requieren ajustes, se debe proceder a realizar el Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio.

Para cada tramo homogéneo identificado en el numeral anterior, y con las especificaciones geométricas asociadas a la Velocidad de Diseño preliminar asumida, se debe realizar el prediseño de un subtramo, mínimo de un kilómetro de longitud, que sea representativo de las condiciones típicas del tramo homogéneo. A dicho subtramo se le evaluará su Capacidad y Nivel de Servicio siguiendo las pautas del Manual de Capacidad de Carreteras colombiano.

En carreteras Primarias, en las que el volumen de tráfico es alto, el parámetro que determina el nivel de servicio es la Velocidad de Operación (V_{Op}), la que, en éste caso, depende fundamentalmente de la intensidad del tráfico.

El estudio de Capacidad y Nivel de servicio debe establecer, para el subtramo considerado típico del tramo homogéneo, el volumen de tráfico horario que hace que la Velocidad de Operación sea igual a la mínima permitida para que la carretera ofrezca a los usuarios el Nivel de Servicio D. Este volumen de tráfico debe ser mayor que el Volumen Horario de Demanda (VHD) estimado para el año veinte y de su comparación se concluirá si la velocidad de diseño preliminar es adecuada ó es necesario modificarla.

Cuando se trate de carreteras de una calzada pero que requieren de un tercer carril ó de carreteras de doble calzada, casos en los que el Manual de Capacidad colombiano no aplica, se puede utilizar cualquier otra herramienta que el diseñador considere apropiada, (el Manual de Capacidad norteamericano - HCM - es una opción), adoptando las debidas precauciones, especialmente en lo pertinente al porcentaje de camiones.

11) Asignación definitiva de la Velocidad de Diseño del tramo (V_{TR})

Si del análisis de Capacidad y Nivel de Servicio se concluye que la velocidad de diseño asumida preliminarmente para el tramo homogéneo es compatible con el nivel de servicio D, considerado como el mínimo nivel de servicio a ofrecer a los usuarios de la carretera, entonces la Velocidad de Diseño preliminar puede ser adoptada como definitiva.

Por el contrario, si la velocidad de diseño preliminar resulta muy baja ó muy alta es necesario asignar una nueva velocidad de diseño preliminar (siempre dentro del rango indicado en la Tabla 2.1 y en consistencia con la velocidad asignada a los tramos adyacentes) y reiniciar el procedimiento.

Como es probable que la nueva velocidad de diseño preliminar tenga asociada una Pendiente Media Máxima que dependiendo de las características topográficas del corredor obligaría, al trazar la línea de ceros sobre las restituciones, a desplazar los puntos secundarios de control que marcan las

fronteras entre tramos homogéneos, el procedimiento se debe revisar desde el paso cinco.

12) Trazado de la línea de ceros en el terreno

Una vez establecidas, en forma definitiva, las fronteras entre Tramos homogéneos y asignada su Velocidad de diseño se debe trazar la línea de ceros en el terreno con el propósito de verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo, es decir sus fronteras, sin superar la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{máx}$) asociada a la Velocidad de diseño adoptada (V_{TR}).

13) Elaboración del croquis de la línea de ceros en el terreno

Si el resultado de ésta Fase de Pre-Factibilidad indica que se deben continuar los estudios será necesario, al inicio de la Fase 2, replantear la línea de ceros que se trazó en el terreno según el paso 12) de esta secuencia.

Para hacer posible el replanteo se debe elaborar un croquis de la línea de ceros, dibujado a partir de datos topográficos levantados en el terreno con instrumentos que pueden no ser de precisión como la brújula, el nivel Abney, la cinta y los jalones.

14) Estudio preliminar de impacto ambiental

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

15) Evaluación económica preliminar

La evaluación económica preliminar, que es uno de los propósitos fundamentales de la Fase 1, se debe realizar preferiblemente con el modelo de simulación HDM-4.

16) Elaboración del Informe Final de Fase 1. Pre-Factibilidad

1.3.1.2.2. Actividades de la Fase 2. Factibilidad

1) Reconocimiento terrestre del corredor de ruta

En ésta actividad se debe hacer énfasis en la identificación de los puntos secundarios de control que son frontera entre Tramos Homogéneos de diseño.

2) Replanteo de la línea de ceros en el terreno

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

3) Levantamiento topográfico del corredor de ruta

La primera actividad es el establecimiento de una poligonal cuyos vértices serán bases de topografía a partir de las cuales, mediante radiación, se toman las coordenadas de puntos del terreno.

Se aceptará el uso de equipos GPS para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

El ancho de la faja de terreno a levantar en cada sector del corredor será definido por los ingenieros a cargo del diseño en función de las características topográficas del sitio. Para que el modelo digital elaborado a partir de la nube de puntos tenga una precisión suficiente es deseable que la distancia entre ellos no supere diez metros (10 m).

4) Estudio preliminar de la estratigrafía a lo largo del corredor de ruta

El diseño del eje en planta debe ser compatible con el diseño en perfil y en sección transversal. Tanto el diseño en perfil como de la sección transversal están condicionados por la naturaleza de los materiales que eventualmente deban ser excavados. En consecuencia, definir la posición del eje en planta sin conocer, al menos en forma aproximada, las características de los estratos involucrados en la explanación es exponerse a sorpresas durante la ejecución de los diseños definitivos en el caso de tener que continuar los estudios en su Fase 3.

Por lo anterior, se debe llevar a cabo mediante métodos indirectos y de bajo costo, como los geosísmicos, una auscultación preliminar que permita inferir la probable estratigrafía del corredor.

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

Todas estas actividades se enuncian en un solo numeral porque su ejecución se debe realizar simultáneamente en un proceso de aproximación sucesiva a la solución más equilibrada.

Se debe proponer una primera alternativa del eje en planta. Como se cuenta con el modelo del terreno se elabora el prediseño del eje en perfil. A partir del eje en planta y del eje en perfil se prediseñan las secciones transversales.

Para proponer la primera alternativa del eje en planta, formular el prediseño en perfil y el prediseño de las secciones transversales es necesario tomar en cuenta algunos aspectos complementarios que se deben definir paralelamente al proceso de diseño geométrico y que condicionan sus decisiones.

Los aspectos que se deben estudiar simultáneamente con el diseño definitivo del eje en planta son:

- Aspectos geotécnicos
 - Posibles requerimientos de estabilización de laderas
 - Prediseño de los taludes. Para ello los especialistas, basados en la estratigrafía deducida y fundamentalmente en su experiencia y buen juicio, deben valorar, obviamente en forma aproximada, aspectos como la condición de los macizos rocosos (rumbo, buzamiento e intensidad de sus diaclasas) y la resistencia al corte de los estratos de suelo.
 - Evaluación de la capacidad portante y compresibilidad de los estratos que servirían como fundación de terraplenes y estructuras viales.
 - Localización de eventuales zonas de material de préstamo para terraplenes.
- Posibilidades de sitios de botadero
- Estudios de hidrología e hidráulica de cauces
 - Ubicación y prediseño de las alcantarillas
 - Cota mínima de rasante en cada sitio de ponedero
- Prediseño de las intersecciones con otras carreteras

Concluido el diseño de la primera alternativa del eje en planta y el prediseño correspondiente del eje en perfil y secciones transversales, elaborados tomando en cuenta las ventajas y desventajas desde los puntos de vista de la geotecnia, posibilidades de disposición de los materiales producto de las excavaciones, hidrología y cauces e intersecciones con otras vías, se debe analizar si la carretera que resultaría de esa primera alternativa del eje en

planta cumple con las especificaciones geométricas exigidas y es compatible con un costo razonable.

Si, a juicio de los proyectistas, el diseño resultante de ésta primera alternativa estudiada es susceptible de mejoras haciendo modificaciones en la posición del eje en planta, estas se deben hacer, procediendo enseguida a elaborar nuevamente el prediseño del eje en perfil y de las secciones transversales. Se analiza el resultado y si es necesario se repite el proceso hasta que se concluya que el diseño corresponde al mejor equilibrio posible entre todos los aspectos que inciden en la construcción y operación de la eventual carretera.

Al eje definitivo en planta se le debe elaborar su Cartera de Localización, mediante coordenadas planas cartesianas, a partir de las bases de topografía establecidas a lo largo del corredor ó a partir de puntos auxiliares enlazados a éstas bases.

6) Elaboración del Estudio Definitivo de Impacto Ambiental

En esta Fase 2 se debe evaluar en forma definitiva el impacto ambiental que produciría la construcción y operación de la carretera. Si el impacto no es mitigable, el proyecto se debe descartar, al menos por el corredor de ruta en estudio.

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

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

7) Elaboración preliminar de estudios y diseños complementarios

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

- Estudio preliminar de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Prediseño de la solución para la estabilización de laderas, si se requiere.
- Prediseño de los taludes y su protección.
- Prediseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio preliminar de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio preliminar de fuentes de materiales para concretos y pavimentos.

- Prediseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Prediseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos prediseños incluyen el estudio preliminar de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, el de una eventual socavación.
- Prediseño del pavimento.
- Prediseño de las intersecciones viales.
- Prediseño de obras especiales, si se requieren, como viaductos y túneles.
- Prediseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Prediseño del amoblamiento vial.
- Prediseño de las obras de mitigación ambiental.

8) Elaboración del presupuesto preliminar

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

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

9) Evaluación económica definitiva

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

10) Elaboración del Informe Final de Fase 2. Factibilidad

1.3.1.2.3. Actividades de la Fase 3. Diseños definitivos

1) Eventual mejoramiento del modelo del terreno en el ancho de zona

Si los ingenieros encargados del diseño geométrico consideran necesario mejorar la precisión del modelo, elaborado con base en el levantamiento topográfico del corredor llevado a cabo durante la Fase 2, se puede proceder de dos maneras, dependiendo del tiempo y los recursos disponibles para la ejecución del proyecto:

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

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

2) Evaluación geotécnica a lo largo del eje de la carretera

Esta actividad consiste en definir con exactitud el perfil estratigráfico y las características de los materiales. Implica necesariamente la ejecución de sondeos y toma de muestras para ensayos de laboratorio.

3) Estudios previos al diseño del eje en perfil y de la sección transversal

Para el diseño definitivo del eje en perfil y de las secciones transversales los ingenieros deben conocer, como mínimo, los siguientes parámetros:

- Inclinação máxima de los taludes en función de su altura.
- Localización de botaderos.
- Localización de bancos de préstamo de materiales aptos para la construcción de terraplenes.
- Cota mínima de rasante en los emplazamientos de las obras de cruce de cauces como puentes y pontones. Para ello se debe establecer el área hidráulica requerida y el peralte aproximado de las estructuras.
- Espaciamiento máximo entre alcantarillas.
- Diseño de las cunetas.
- Espesor del pavimento.

4) Diseño definitivo del eje en perfil

5) Diseño definitivo de las secciones transversales

6) Análisis del movimiento de tierras

Este análisis debe incluir lo siguiente:

- Determinación del volumen de excavación a lo largo del eje, discriminándolo en roca y material común.
- Determinación del volumen de terraplén.
- Determinación del volumen de excavación en bancos de préstamo para terraplenes.
- Programación de los acarreos utilizando el Diagrama de Curva-masa u otra herramienta equivalente.

7) Estudios y diseños complementarios definitivos

Se deben elaborar, a nivel de detalle para construcción, los siguientes estudios y diseños:

- Estudio de predios para la adquisición del ancho de zona.

- Diseño de la solución para la estabilización de laderas, si se requiere.
- Diseño de los taludes y su protección.
- Diseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio de fuentes de materiales para concretos y pavimentos.
- Diseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Diseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos diseños incluyen el estudio de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, el de una eventual socavación.
- Diseño del pavimento.
- Diseño de las intersecciones viales.
- Diseño de obras especiales, si se requieren, como viaductos y túneles.
- Diseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Diseño del amoblamiento vial.
- Diseño de las obras de mitigación ambiental.

8) Elaboración del presupuesto definitivo

Para la elaboración del presupuesto se debe calcular el cuadro de cantidades de obra y conformar el precio unitario de cada uno de los ítems involucrados en el proyecto.

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

9) Elaboración de la documentación final

Los documentos finales constan, como mínimo, de:

- Planos Planta-perfil de la carretera, incluidas sus intersecciones.

- Planos con el diseño de las secciones transversales cada diez metros (10 m) y en abscisas especiales (TE, EC, CE, ET, obras viales).
- Carteras de campo y oficina.
- Planos detallados para construcción y memoria de cálculo de los estudios y diseños relacionados en el paso 7) Estudios y diseños complementarios definitivos.
- Pliegos de licitación para la construcción.

1.3.1.3. Carreteras Secundarias y Terciarias

1) Adquisición de la cartografía existente de la zona del proyecto

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

2) Identificación, con base en la información cartográfica, de los posibles corredores de ruta

Se deberán considerar, como mínimo, los siguientes aspectos: la estabilidad geológica, la pendiente transversal del terreno (clasificándolo en plano, ondulado, montañoso ó escarpado), la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, el número de cauces mayores, opciones de puertos secos y ponederos, posibilidad de fuentes de materiales y zonas de vida ó ecosistemas.

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

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

El principal criterio es la homogeneidad en el tipo de terreno. Las fronteras entre tramos serán puntos secundarios de control adicionales. Se debe tener en cuenta el criterio de longitud mínima de un tramo homogéneo, consignado en el numeral 2.1.1 de este Manual.

4) Asignación de la Velocidad de Diseño a cada tramo homogéneo

A cada uno de los tramos homogéneos identificados se le debe asignar su Velocidad de Diseño conforme a los criterios establecidos en el numeral 2.1.1 y en la Tabla 2.1.

5) Trazado de la línea de ceros sobre las restituciones 1:10.000

Sin exceder la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) asociada a la Velocidad de Diseño preliminar asignada a cada tramo homogéneo, se debe trazar la línea de ceros entre los puntos secundarios de control considerados como fronteras entre tramos homogéneos.

La Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en un determinado Tramo Homogéneo debe ser menor que la pendiente máxima permitida para una tangente vertical incluida en dicho Tramo Homogéneo. El valor de la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) en ningún caso puede ser superior a siete por ciento (7%) y sus valores se indican en la Tabla 4.1 del presente Manual.

Si la pendiente media del corredor es menor que la máxima permitida para una tangente vertical es poco probable que, al momento de realizar el diseño en perfil del eje de la carretera, se presenten dificultades para cumplir la especificación de pendiente máxima de una tangente vertical.

El requisito que establece que la pendiente media del corredor de ruta no debe superar siete por ciento (7%) tiene sentido fundamentalmente en el caso del proyecto de una carretera Terciaria. En estas carreteras, por su categoría, se permiten pendientes fuertes, las que se pueden diseñar sin objeción mientras la vía sea Terciaria. Si con el paso de los años es necesario mejorar sus especificaciones geométricas, será posible ensanchar la corona y ampliar el Radio de las curvas, pero no disminuir la pendiente ya que una variante con pendientes menores difícilmente volvería a empalmar más adelante con la carretera existente.

Es claro que en un principio se requiere mayor longitud para superar iguales desniveles, pero esta situación se verá compensada cuando al momento del mejoramiento de la carretera no sea inexorable el abandono del corredor, con todo el desarrollo social y económico logrado durante el transcurso del tiempo.

6) Reconocimiento terrestre

Una vez trazada la línea de ceros sobre las restituciones se debe llevar a cabo un reconocimiento terrestre con el propósito de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía.

Para conceptuar si la línea de ceros es factible, se debe establecer, con un altímetro, la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con el desarrollo de dicha línea, medido sobre las mismas restituciones, se debe calcular la Pendiente Media entre puntos de control y constatar, sobre la realidad del terreno, si se supera o no la máxima permitida para la Velocidad de Diseño asignada al tramo homogéneo.

Además, se debe analizar la estabilidad geológica y la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, las condiciones reales de los sitios de cruce de las líneas divisorias de aguas (puertos secos) y ponederos definidos como puntos secundarios de control, las posibles fuentes de materiales, las zonas de vida ó ecosistemas y todos los demás aspectos que el grupo de especialistas considere necesario valorar.

7) Trazado de la línea de ceros en el terreno

Una vez realizados los ajustes requeridos según los resultados del reconocimiento terrestre se debe trazar la línea de ceros en el terreno con el propósito de verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo homogéneo, es decir sus fronteras, sin superar la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ($PM_{m\acute{a}x}$) asociada a la Velocidad de diseño asignada (V_{TR}).

8) Levantamiento topográfico del corredor de ruta

La primera actividad es el establecimiento de una poligonal cuyos vértices serán bases de topografía a partir de las cuales, mediante radiación, se toman las coordenadas de puntos del terreno.

Se aceptará el uso de equipos GPS para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

El ancho de la faja de terreno a levantar en cada sector del corredor será definido por los ingenieros a cargo del diseño en función de las características topográficas del sitio. Para que el modelo digital elaborado a partir de la nube de puntos tenga una precisión suficiente es deseable que la distancia entre ellos no supere diez metros (10 m).

9) Estudio de la estratigrafía a lo largo del corredor de ruta

El diseño del eje en planta debe ser compatible con el diseño en perfil y en sección transversal. Tanto el diseño en perfil como en sección transversal están condicionados por la naturaleza de los materiales que eventualmente deban ser excavados. En consecuencia, definir la posición del eje en planta sin conocer, al menos en forma aproximada, las características de los estratos involucrados en la explanación es exponerse a sorpresas durante la construcción.

Por lo anterior, se debe llevar a cabo mediante métodos indirectos y de bajo costo, como los geosísmicos, una auscultación que permita inferir la probable estratigrafía a lo largo del corredor.

10) Diseño del eje en planta y en perfil, diseño de la sección transversal y definición de algunos aspectos requeridos para el diseño geométrico

Todas estas actividades se enuncian en un solo numeral porque su ejecución se debe realizar simultáneamente en un proceso de aproximación sucesiva a la solución más equilibrada.

Se debe proponer una primera alternativa del eje en planta. Como se cuenta con el modelo del terreno se elabora el prediseño del eje en perfil. A partir del eje en planta y del eje en perfil se prediseñan las secciones transversales.

Para proponer la primera alternativa del eje en planta, formular el prediseño en perfil y el prediseño de las secciones transversales es necesario tomar en cuenta algunos aspectos complementarios que se deben definir paralelamente al proceso de diseño geométrico y que condicionan sus decisiones.

Los aspectos que se deben estudiar simultáneamente con el diseño definitivo del eje en planta son:

- Aspectos geotécnicos
 - Posibles requerimientos de estabilización de laderas.
 - Diseño de los taludes. Para ello los especialistas, basados en la estratigrafía deducida y fundamentalmente en su experiencia y buen juicio, deben valorar, obviamente en forma aproximada, aspectos como la condición de los macizos rocosos (rumbo, buzamiento e intensidad de sus diaclasas) y la resistencia al corte de los estratos de suelo.
 - Evaluación de la capacidad portante y compresibilidad de los estratos que servirían como fundación de terraplenes y estructuras viales.

- Localización de eventuales zonas de material de préstamo para terraplenes.
- Posibilidades de sitios de botadero.
- Estudios de hidrología e hidráulica de cauces
- Ubicación y prediseño de las alcantarillas.
- Cota mínima de rasante en cada sitio de ponteadero.
- Prediseño de las intersecciones con otras carreteras

Concluido el diseño de la primera alternativa del eje en planta y el prediseño correspondiente del eje en perfil y secciones transversales, elaborados tomando en cuenta las ventajas y desventajas desde los puntos de vista de la geotecnia, posibilidades de disposición de los materiales producto de las excavaciones, hidrología y cauces e intersecciones con otras vías, se debe analizar si la carretera que resultaría de esa primera alternativa del eje en planta cumple con las especificaciones geométricas exigidas y es compatible con un costo razonable.

Si, a juicio de los proyectistas, el diseño resultante de ésta primera alternativa estudiada es susceptible de mejoras haciendo modificaciones en la posición del eje en planta, estas se deben hacer, procediendo enseguida a elaborar nuevamente el prediseño del eje en perfil y de las secciones transversales. Se analiza el resultado y si es necesario se repite el proceso hasta que se concluya que el diseño corresponde al mejor equilibrio posible entre todos los aspectos que inciden en la construcción y operación de la eventual carretera.

Al eje definitivo en planta se le debe elaborar su Cartera de Localización, mediante coordenadas planas cartesianas, a partir de las bases de topografía establecidas a lo largo del corredor ó a partir de puntos auxiliares enlazados a éstas bases. Se aceptará el uso de equipos GPS para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

11) Estudio de impacto ambiental

Si el resultado del estudio de impacto ambiental indica que éste no es mitigable se debe descartar el proyecto por el corredor seleccionado. Si el impacto ambiental es mitigable se debe continuar con los siguientes pasos.

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

12) Estudios y diseños complementarios

Se deben elaborar, a nivel de detalle para construcción, los siguientes estudios y diseños:

- Estudio de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Diseño de la solución para la estabilización de laderas, si se requiere.
- Diseño de los taludes y su protección.
- Diseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio de fuentes de materiales para concretos y pavimentos.
- Diseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Diseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos diseños incluyen el estudio de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, el de una eventual socavación.
- Diseño del pavimento, si se trata de una carretera Secundaria.
- Diseño de las intersecciones viales.
- Diseño de obras especiales, si se requieren, como viaductos y túneles.
- Diseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Diseño del amoblamiento vial.
- Diseño de las obras de mitigación ambiental.

13) Elaboración del presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se debe calcular el cuadro de cantidades de obra y conformar el precio unitario de cada uno de los ítems involucrados en el proyecto.

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

14) Elaboración de la documentación final

Los documentos finales constan, como mínimo, de:

- Planos Planta-perfil de la carretera, incluidas sus intersecciones.
- Planos con el diseño de las secciones transversales cada diez metros (10 m) y en abscisas especiales (TE, EC, CE, ET, obras viales).
- Carteras de campo y oficina.
- Planos detallados para construcción y memoria de cálculo de los estudios y diseños relacionados en el paso 12) Estudios y diseños complementarios.
- Pliegos de licitación para la construcción.

1.3.2. Proyecto del mejoramiento de carreteras existentes

1.3.2.1. Justificación de un proyecto de mejoramiento

Las exigencias del tránsito en lo referente a la seguridad y a la velocidad de operación obligan al mejoramiento continuo de los criterios de diseño y, por consiguiente, a su aplicación en el mejoramiento de las carreteras existentes. Entre las situaciones que justifican el mejoramiento de una carretera se encuentran las siguientes:

- El incremento en el volumen de tránsito. Un caso frecuente es la ampliación de la vía a dos calzadas con separador central y la adecuación de la vía existente como una de las calzadas unidireccionales.
- Así la demanda del tránsito no lo exija, la pavimentación de una carretera obliga a realizar mejoras en los alineamientos, compatibles con el aumento en la velocidad de operación que dicha pavimentación implica. El incremento de la velocidad de los vehículos requiere garantizar la distancia de visibilidad de parada y además, a ofrecer, en las carreteras de dos carriles, longitud suficiente con visibilidad de adelantamiento.
- La necesidad de eliminar sitios críticos de accidentalidad originados por defectos en el trazado de la carretera.

1.3.2.2. Criterios generales

A continuación se mencionan algunos criterios generales para el diseño de rectificaciones y mejoras:

- 1) Se deben cumplir los criterios de diseño geométrico correspondientes a carreteras nuevas.

- 2) En las carreteras de dos carriles, garantizar la distancia de visibilidad de parada y una longitud suficiente con visibilidad de adelantamiento.
- 3) El mejoramiento que implica una rectificación debe ser completo y obedecer a estándares congruentes en sus alineamientos horizontal, vertical y en sección transversal.
- 4) Hasta donde sea posible se debe aprovechar la infraestructura existente.
- 5) Corregir los accesos peligrosos a los puentes y eliminar pasos de ferrocarril a nivel.
- 6) En el mejoramiento se deben considerar aspectos estéticos, paisajísticos y ambientales.
- 7) Se debe garantizar la máxima eficiencia de los sistemas de drenaje.

1.3.2.3. Fases y actividades para el diseño geométrico del mejoramiento

Semejante al diseño de una vía nueva, el mejoramiento de una carretera existente se lleva a cabo en tres fases sucesivas.

- Fase 1

Estudio de alternativas del mejoramiento que faciliten el análisis y la toma de decisiones para la realización del proyecto, desde los aspectos geológico, geométrico, ambiental y socioeconómico. Desde el punto de vista del diseño geométrico el estudio en esta fase debe contener como mínimo lo siguiente:

- 1) Adquisición de restituciones, fotografías aéreas e imágenes de satélite.**
- 2) Recopilación de documentos de los estudios de la vía existente realizados anteriormente.**
- 3) Reconocimiento de la zona del proyecto, con el inventario detallado de la geometría de la vía y la topografía aledaña.**
- 4) Análisis de las especificaciones de diseño de la vía existente.**
- 5) Identificación de tramos homogéneos de acuerdo a la topografía, tránsito y diseño geométrico de la vía existente.**
- 6) Análisis y selección de los tipos de mejoramiento para proponer alternativas.**

7) Diseño de un tramo de prueba para proponer alternativas, donde se realice el análisis de los posible tipos de mejoramiento, en planta, perfil, sección transversal y superficie de rodadura.

8) Selección de especificaciones para el diseño del mejoramiento

9) Diseño preliminar de variantes.

10) Selección de la alternativa de diseño.

11) Paralelamente a los estudios de diseño geométrico es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos que inciden directamente en el proyecto geométrico:

- Ubicación de sitios críticos de inestabilidad geológica y problemas geotécnicos en el área en estudio.
- Evaluación del estado de los puentes, pontones y alcantarillas, para determinar su posible ampliación y su incidencia en el diseño geométrico del mejoramiento.
- Selección de posibles sitios para el diseño de intersecciones
- Ubicación de sitios de alta accidentalidad
- Ubicación preliminar de las fuentes de materiales.
- Áreas de incidencia directa del proyecto tales como cultivos, agroindustria, industria, zonas urbanas o sub-urbanas, zonas de inundación, sectores de conflicto social, etc.
- Análisis de costos de materiales e insumos que se deben tener en cuenta para el estudio económico de las alternativas a proponer.

- Fase 2

En esta fase se refina la alternativa propuesta en la Fase 1 con el fin de realizar el diseño geométrico preliminar del mejoramiento. Las actividades mínimas que se deben llevar a cabo en esta etapa son:

1) Levantamiento topográfico de la zona del proyecto.

Los trabajos incluyen el levantamiento de una poligonal, cuyos vértices son bases de topografía, con su respectivo chequeo de cierre y control de cotas con una nivelación de precisión; toma de topografía en el área lateral al proyecto según los posibles cambios en el diseño en planta y ampliación de la sección transversal; levantamiento detallado de la vía existente;

levantamiento topográfico de puentes y obras especiales aledañas al proyecto (oleoductos, poliductos, conducciones de acueducto y alcantarillado, redes eléctricas, viviendas); levantamiento topográfico para el diseño de las variantes.

Se aceptará el uso de equipos GPS para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

Los levantamientos topográficos generan el modelo del terreno mediante coordenadas enlazadas al sistema del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Este modelo del terreno se utiliza para la elaboración de los planos topográficos para el diseño geométrico.

2) Selección de los controles de diseño geométrico en planta, perfil y sección transversal.

De acuerdo a los tramos homogéneos identificados es necesario definir los controles de diseño geométrico para cada uno de ellos. La selección de los controles de diseño geométrico está dirigida específicamente a la determinación de la Velocidad de diseño de los tramos (V_{TR}), la Velocidad Específica de las curvas horizontales (V_{CH}) y la sección transversal típica del mejoramiento, como elementos de partida para definir las especificaciones de diseño como son los radios mínimos, las entretangencias mínimas, las pendientes máximas y mínimas, etc.

3) Diseño geométrico del eje en planta.

El diseño geométrico en planta del eje del proyecto debe tener, en lo posible, un desarrollo ajustado a la vía existente sin dejar de cumplir con las nuevas especificaciones de diseño. Los parámetros de diseño en planta son los mismos indicados para el diseño de vías nuevas y señalados en el capítulo 3 del presente Manual. La nueva geometría propuesta en el diseño del mejoramiento debe reflejar las ventajas del nuevo diseño en planta sobre la geometría de la vía existente. En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de una propuesta de mejoramiento en planta.

4) Diseño geométrico del perfil de prueba o prediseño de una nueva rasante.

Los parámetros de diseño en perfil son los mismos que para una vía nueva e indicados en el Capítulo 4. El modelo del terreno permite el dibujo de los perfiles por el eje del proyecto y sus bordes. Esto facilita el diseño, pudiendo ser ajustado a condicionantes como cotas de paso sobre puentes existentes, empalmes con otras vías, ajuste de los niveles a los accesos a viviendas y ajuste de las nuevas capas de la estructura de pavimento sobre

los niveles del pavimento actual que se puedan aprovechar. Este perfil de prueba deberá ser revisado en la Fase 3 una vez se haya localizado el eje de la carretera mejorada.

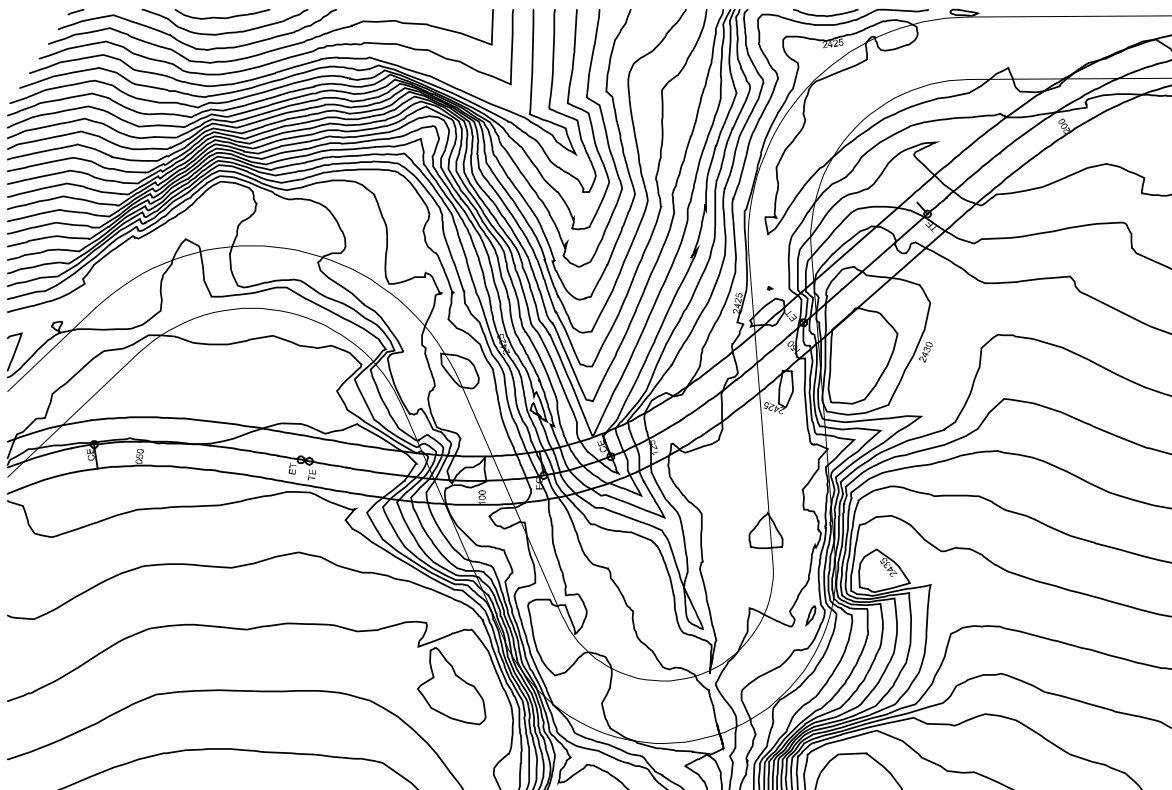


Figura 1.1. - Diseño geométrico del mejoramiento. Ejemplo

5) Diseño preliminar de obras viales.

Se debe realizar el diseño preliminar de las obras viales que inciden directamente en el diseño en perfil del proyecto. Se debe realizar el diseño preliminar de alcantarillas, pontones, puentes y muros de contención, a los cuales es necesario definir dimensiones, tipo de obra, cotas de rasante y su procedimiento de construcción. La Figura 1.2 muestra un ejemplo del diseño preliminar de una obra de drenaje.

6) Diseño preliminar de intersecciones a nivel de bosquejo.

En cada uno de los sitios donde se prevea el diseño de una intersección a nivel o a desnivel se elaboran anteproyectos o alternativas de intersección para posteriormente escoger el diseño definitivo, el cual debe ser elaborado en la Fase 3.

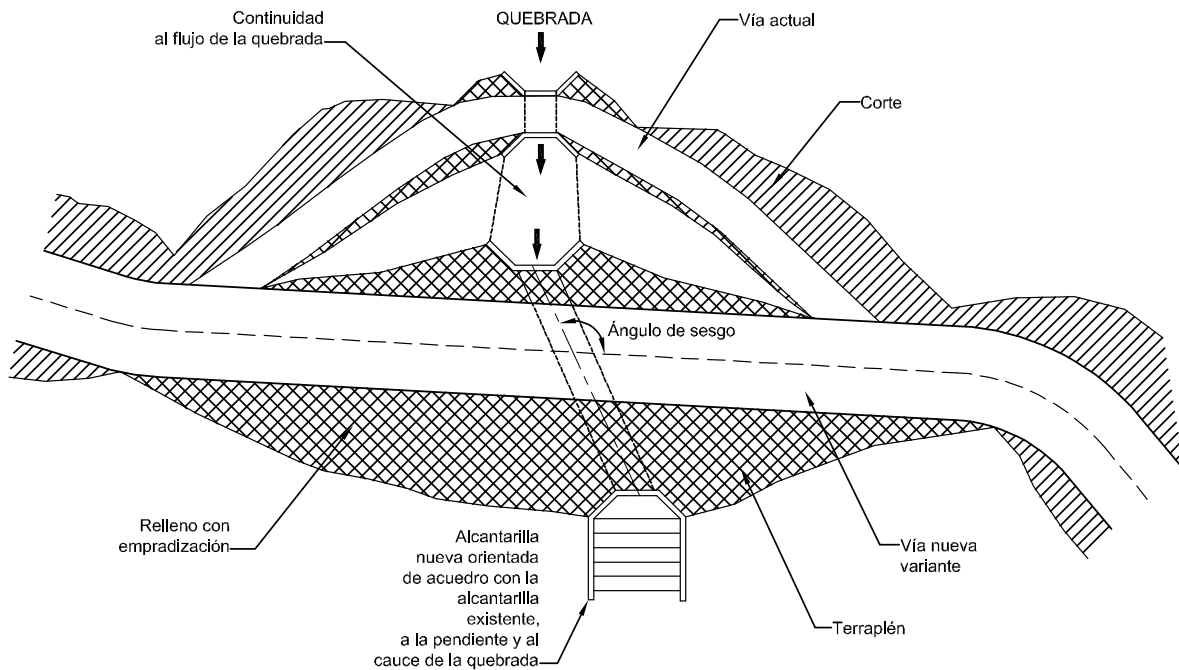


Figura 1.2. - Ubicación de obras de drenaje. Ejemplo

7) Cálculo de cantidades de obra a nivel preliminar con el fin de hacer un estimativo de los costos del proyecto.

De igual forma que en la Fase 1, paralelamente se realizan los estudios de tránsito, geología, geotecnia, hidrología, hidráulica y ambiental que deben ser elaborados interdisciplinariamente a la par con el estudio del Diseño Geométrico. Al final de la Fase 2 se entrega a la interventoría los diseños preliminares para su revisión y decisión de la continuidad o no del proyecto a la siguiente fase.

- Fase 3

En esta fase se realiza el estudio detallado del proyecto a partir de los diseños aprobados en la fase anterior. El objetivo de esta fase es la elaboración de los diseños definitivos, que una vez aprobados por la entidad contratante, serán empleados en la construcción de la obra. Desde el punto de vista del diseño geométrico los principales aspectos a considerar en esta etapa son los siguientes:

1) Localización en el terreno del eje definitivo.

Se materializa el eje utilizando equipo topográfico de precisión e hincando estacas sobre el terreno natural o mediante puntos marcados con pintura sobre el pavimento existente. Debe ser un trabajo de alta precisión el cual debe quedar registrado en carteras de campo, las cuales serán utilizadas para el proceso del replanteo durante la construcción. La localización se debe realizar

mediante coordenadas Norte, Este de todas las abscisas, ajustadas al sistema de coordenadas del proyecto y estas a su vez articuladas al sistema de coordenadas del Instituto Agustín Codazzi. En el proceso de la localización se pueden detectar errores y generar cambios en algunos sitios del proyecto.

2) Nivelación del eje del proyecto.

A pesar de que el modelo digital tridimensional permite el dibujo de los perfiles de la vía es conveniente el chequeo de estos perfiles mediante una nivelación de precisión de dichos ejes, para detectar errores que el modelo digital pueda presentar y hacer los ajustes pertinentes.

3) Diseño definitivo en perfil.

Se utilizan los nuevos perfiles obtenidos en la nivelación del eje para ajustar el diseño de la rasante que fue proyectada en la Fase 2, teniendo en cuenta las observaciones derivadas del proceso de la localización del eje.

4) Diseño definitivo de las secciones transversales.

Se debe elaborar el diseño definitivo de las secciones transversales en todo el abscisado del proyecto, teniendo en cuenta el ancho de la calzada, ancho de bermas, el diseño de las cunetas, el diseño de la estructura del pavimento, la inclinación de los taludes de corte y diseño de terraplenes, muros de contención, obras de drenaje, puentes e intersecciones. Las secciones transversales se generan a partir del modelo digital en tres dimensiones y complementadas con todos los elementos antes descritos.

5) Cálculo del movimiento de tierras utilizando el modelo del terreno.

Los valores obtenidos a este nivel deben ser definitivos y sirven de base para el cálculo de cantidades de obra y costos de construcción.

6) Elaboración de fichas catastrales.

Es indispensable el levantamiento topográfico de los predios que serán intervenidos por el proyecto, el dibujo de planos con linderos, anchos de zona, línea de chaflanes y relación de propietarios.

7) Elaboración de los planos para construcción y documentos finales.

Se elaboran los planos Planta – perfil, planos de las obras viales como son las obras de drenaje, muros de contención, intersecciones, etc. Se deben presentar documentos donde estén consignadas las carteras de tránsito, nivelación, movimiento de tierras y referencias para el replanteo. En la Figura 1.3 se presenta un plano con sus respectivos linderos y predios.

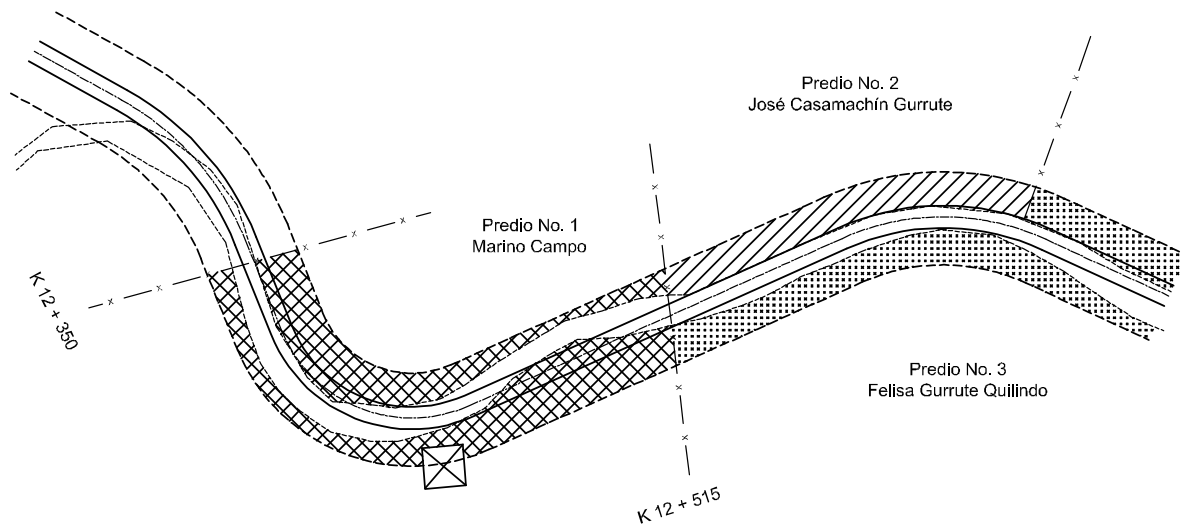


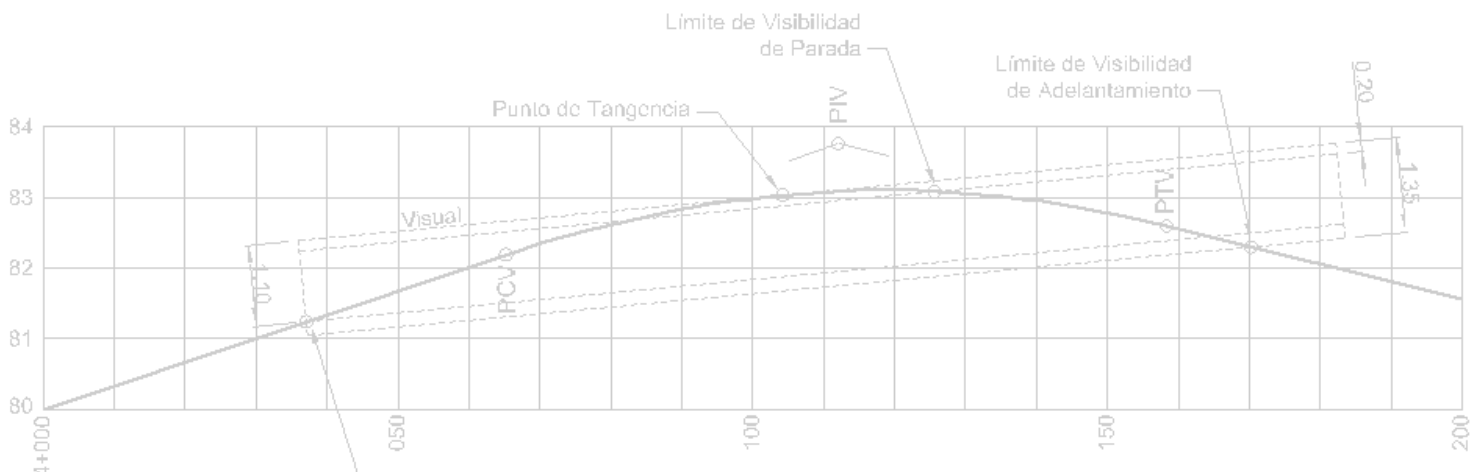
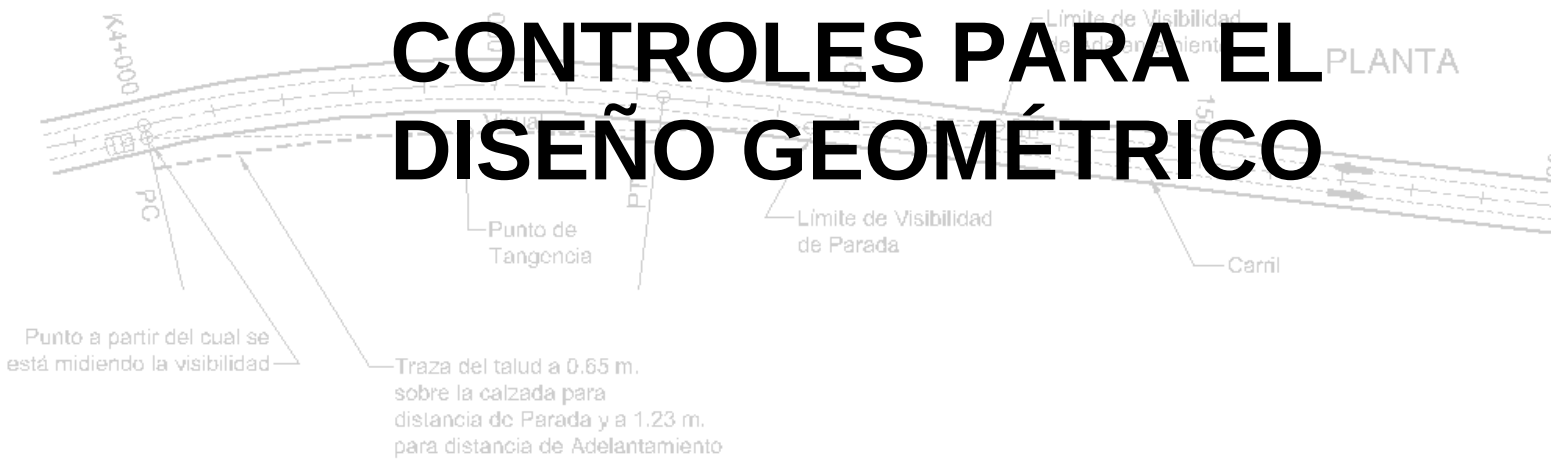
Figura 1.3. - Plano con linderos y predios. Ejemplo

1.3.2.4. Especificaciones para el diseño geométrico del mejoramiento

La vía mejorada debe ser una carretera cómoda, segura y adaptada a las nuevas exigencias del tránsito, por lo tanto es indispensable cumplir con las especificaciones indicadas en este Manual. El resultado de mejorar la sección transversal, los alineamientos en planta y en perfil deben ser congruentes con las expectativas que inicialmente se tiene del mejoramiento, cumpliendo con los mismos requerimientos exigidos para el diseño geométrico de una vía nueva. Lograr el cumplimiento de estos criterios es el reto que el diseñador del mejoramiento debe asumir.

CAPÍTULO 2

CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO



CAPITULO 2. CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1. VELOCIDAD DE DISEÑO

2.1.1. Criterios generales para establecer la consistencia de la velocidad a lo largo del trazado de la carretera

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

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

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

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

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

2.1.2. Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (V_{TR})

La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una Velocidad de diseño (V_{TR}) en el rango que se indica en la Tabla 2.1. 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 2.1.

Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (V_{TR}) 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										

2.1.3. Velocidad Específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil

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.

Para tener en cuenta en el diseño esta actitud de relativa indisciplina de los conductores es necesario dimensionar los elementos geométricos, curvas y entretangencias en planta y perfil, en forma tal que puedan ser recorridos con plena seguridad a la velocidad máxima más probable con que sería abordado cada uno de dichos elementos geométricos.

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

El valor de la Velocidad Específica de un elemento geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

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

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

Estudios de velocidad en carreteras realizados en países con idiosincrasia similar a la colombiana, han establecido que la gran mayoría de los conductores, dependiendo de la percepción del trazado que tienen adelante, incrementan su velocidad respecto a la velocidad de diseño del tramo, hasta en veinte kilómetros por hora (20 km/h).

La secuencia general para la asignación de la Velocidad Específica de los elementos geométricos en planta y perfil es la siguiente:

1) En el proceso de diseño del eje en planta:

- Partiendo de la Velocidad de Diseño del tramo homogéneo adoptada (V_{TR}), asignar la Velocidad Específica a cada una de las curvas horizontales (V_{CH}).
- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}), asignar la velocidad específica a las entretangencias horizontales (V_{ETH}).

2) En el proceso de diseño del eje en perfil:

- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}) y a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la Velocidad Específica a las curvas verticales (V_{CV}).

- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la Velocidad Específica a las tangentes verticales (V_{TV}).

2.1.3.1. Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH})

Para asignar la Velocidad Específica (V_{CH}) a las curvas horizontales incluidas en un Tramo homogéneo, se consideran los siguientes parámetros:

- La Velocidad de Diseño del Tramo homogéneo (V_{TR}) en que se encuentra la curva horizontal.
- El sentido en que el vehículo recorre la carretera.
- La Velocidad Específica asignada a la curva horizontal anterior.
- La longitud del Segmento Recto anterior. Para efectos de éste Manual se considera Segmento Recto a la distancia horizontal medida entre los puntos medios de las espirales de las curvas al inicio y al final del segmento si éstas son espiralizadas ó entre el PT y el PC de las curvas si son circulares.
- La deflexión en la curva analizada.

2.1.3.1.1. Criterios para la asignación de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH})

La Velocidad Específica de cada una de las curvas horizontales se debe establecer atendiendo a los siguientes criterios:

- 1) La Velocidad Específica de una curva horizontal (V_{CH}) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo ($V_{CH} \geq V_{TR}$) ni superior a ésta en veinte kilómetros por hora ($V_{CH} \leq V_{TR} + 20$).
- 2) La Velocidad Específica de una curva horizontal debe ser asignada teniendo en cuenta la Velocidad Específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento recto anterior.

Se ha establecido que los conductores, en función de la velocidad a la que recorren una curva horizontal y la longitud del segmento recto que encuentran al salir de dicha curva, adoptan el patrón de comportamiento que se tipifica en los cinco casos que se enuncian más adelante. Tales casos se ilustran para la situación de velocidades de diseño relativamente altas (V_{TR} entre 60 y 110 km/h) y se consignan en la Tabla 2.2.

Cuando la Velocidad de Diseño del tramo (V_{TR}) es relativamente baja (entre 30 y 50 km/h) la longitud del Segmento Recto, en función de la cual los

conductores toman la decisión para ajustar su velocidad, es menor, tal como se puede observar en la misma Tabla 2.2.

- **CASO 1.** Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto es inferior a la distancia recorrida en aproximadamente cinco segundos (5 s) a la Velocidad de Diseño del Tramo (150 metros en promedio). En éste caso no disponen del tiempo suficiente para obtener plena claridad sobre la situación y en consecuencia no alcanzan a realizar ajustes a su velocidad. La condición de seguridad indica que a la curva horizontal siguiente se le debe asignar la misma Velocidad Específica que la asignada a la curva que se acaba de recorrer.
- **CASO 2.** Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto se encuentra entre ciento cincuenta y cuatrocientos metros (150 y 400 m). En éste caso ajustan ó no su velocidad en función de la percepción que obtienen del trazado más allá de la curva que encuentran ya muy cercana.

Si la deflexión de la curva siguiente es menor de cuarenta y cinco grados ($\Delta < 45^\circ$), los conductores alcanzan a tener una noción razonablemente clara del trazado que sigue y no disminuyen la velocidad a la que ya se desplazan por el segmento recto, que es la velocidad a la que salieron de la curva anterior. En consecuencia, se le debe asignar a la curva horizontal una Velocidad Específica igual a la Velocidad Específica de dicha curva anterior.

- **CASO 3.** Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto se encuentra entre ciento cincuenta y cuatrocientos metros (150 y 400 m). Como el caso anterior, ajustan ó no su velocidad en función de la noción que obtienen del trazado más allá de la curva que encuentran ya muy cercana.

Si la deflexión de la curva siguiente es mayor ó igual a cuarenta y cinco grados ($\Delta \geq 45^\circ$), los conductores tienen una percepción incierta del trazado y cautelosamente disminuyen su velocidad por lo que a la curva horizontal se le debe asignar una Velocidad Específica diez kilómetros por hora (10 km/h) menor que la Velocidad Específica de la curva anterior.

- **CASO 4.** Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto se encuentra entre cuatrocientos y seiscientos metros (400 y 600 m). En éste caso, el segmento recto es suficientemente extenso para que la velocidad de entrada a la curva siguiente sea independiente de la velocidad a la que se salió de la curva anterior, pero no demasiado, por lo que los conductores ajustan su velocidad a una superior tan solo en diez (10) kilómetros por hora respecto a la Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}). Por lo tanto, se le debe asignar a la curva horizontal una Velocidad Específica igual a la Velocidad de Diseño del Tramo más diez

kilómetros por hora ($V_{TR} + 10$), ya que es a ésta velocidad a la que los vehículos entrarán en dicha curva.

- **CASO 5.** Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto es mayor de seiscientos metros (600 m). En éste caso, en el que el segmento recto por su longitud relativamente grande estimula a los conductores a incrementar la velocidad, éstos ajustan su velocidad a una superior en veinte (20) kilómetros por hora respecto a la Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}). Por lo tanto, se le debe asignar a la curva horizontal una Velocidad Específica igual a la Velocidad de Diseño del Tramo más veinte kilómetros por hora ($V_{TR} + 20$), ya que es a ésta velocidad a la que los vehículos entrarán en dicha curva.
- 3) La diferencia entre las Velocidades Específicas de la última curva horizontal de un tramo y la primera del siguiente se indican en la Tabla 2.3. Tales diferencias están en función de la Velocidad de Diseño de los tramos contiguos y de la longitud del segmento recto entre dichas curvas. Además, son concordantes con los criterios establecidos para la asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales dentro de un mismo tramo.

Es necesario enfatizar que para no desvirtuar el valor asignado a la Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}), cada vez que las condiciones topográficas del terreno lo permitan, se debe plantear una propuesta del eje que conduzca, al momento de asignar la Velocidad Específica a las curvas horizontales (V_{CH}), a que éstas Velocidades Específicas resulten lo más cercanas posible a la Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). Como ya se manifestó en un párrafo anterior, la condición ideal es que todas o casi todas las curvas horizontales tengan como Velocidad Específica (V_{CH}) la Velocidad de diseño del Tramo homogéneo (V_{TR}).

Los criterios expuestos se han adoptado considerando terreno a nivel ó pendientes muy suaves, siendo ésta la situación asociada a las mayores velocidades, constituyendo el caso crítico. En las pendientes, tanto de ascenso como de descenso, los vehículos tienden a reducir su velocidad.

Tabla 2.2.
Velocidad Específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con Velocidad de Diseño V_{TR}

Velocidad Específica de la Curva horizontal anterior V_{CH} (km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) ≤ 50 km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) > 50 km/h				
	Longitud del Segmento recto anterior (m)					Longitud del Segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$	$250 < L \leq 400$	$L > 400$		$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$	$400 < L \leq 600$	$L > 600$	
V_{TR}	V_{TR}	$\Delta < 45^\circ$ $\Delta \geq 45^\circ$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Tabla 2.3.
Diferencia entre la Velocidad Específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en km/h

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

⁽¹⁾ Longitud del Segmento recto entre la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado.

⁽²⁾ No aplica.

⁽³⁾ Si la longitud del segmento recto anterior es mayor de cuatrocientos metros (400 m) es necesario revisar las Velocidades asignadas a los Tramos homogéneo (V_{TR}).

⁽⁴⁾ Si la longitud del segmento recto anterior es mayor de seiscientos metros (600 m) es necesario revisar las Velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (V_{TR}).

- (5) Si la longitud del segmento recto anterior se encuentra entre doscientos cincuenta y cuatrocientos metros (250 – 400 m) es necesario revisar las Velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (V_{TR}).
- (6) Si la longitud del segmento recto anterior se encuentra entre cuatrocientos y seiscientos metros (400 – 600 m) es necesario revisar las Velocidades asignadas a los Tramos homogéneos (V_{TR}).

2.1.3.1.2. Procedimiento para la asignación de la Velocidad Específica de la curva horizontal

La asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales (V_{CH}) se debe realizar simulando primero el desplazamiento de un vehículo en un sentido de circulación y luego en el otro. La Velocidad Específica que se le asigne como definitiva a una curva debe ser la mayor que resulte de la simulación en ambos sentidos. En las Figuras 2.1a y 2.1b se presenta un ejemplo que ilustra la aplicación de los criterios para asignar la Velocidad Específica de las curvas horizontales incluidas en un tramo homogéneo de carretera.

El procedimiento general sugerido para asignar la Velocidad Específica de las curvas horizontales (V_{CH}) se describe a continuación.

- 1) Trazado de la línea de ceros
- 2) Diseño preliminar del eje en planta

El diseño preliminar del eje en planta se debe realizar ajustado a la línea de ceros y de acuerdo a la Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) adoptada. Las curvas horizontales propuestas deben cumplir con los criterios indicados en el Capítulo 2. Controles para el diseño geométrico y en el Capítulo 3. Diseño en planta del eje de la carretera, y en especial con el control de radios consecutivos de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.5 y en la Tabla 3.8.

- 3) Determinación de la longitud de los Segmentos rectos entre las curvas propuestas.
- 4) Asignación de la Velocidad Específica (V_{CH}) de las curvas horizontales simulando el recorrido en el sentido creciente del abscisado.

Se sugiere el siguiente procedimiento:

- Asignar la Velocidad Específica (V_{CH}) a la primera curva del tramo homogéneo observando los criterios que se enuncian a continuación:
 - Diferencia de Velocidades de Diseño entre tramos homogéneos
 - Diferencia entre la Velocidad Específica de la última curva del tramo anterior y la primera del tramo siguiente. Los valores se presentan en

la Tabla 2.3. Cuando no existe tramo anterior, la Velocidad Específica de la primera curva debe ser mayor o igual a la Velocidad del Tramo homogéneo (V_{TR}) y menor o igual a la Velocidad del tramo más veinte kilómetros por hora ($V_{TR} \leq V_{CH} \leq V_{TR} + 20$).

- Asignar la Velocidad Específica a las demás curvas en forma consecutiva, cumpliendo con los criterios indicados en la Tabla 2.2, hasta terminar con la asignación de la Velocidad Específica de la última curva.

5) Asignación de la Velocidad Específica (V_{CH}) de las curvas horizontales simulando el recorrido en el sentido decreciente del abscisado

A la primera curva del tramo homogéneo analizado en el sentido decreciente del abscisado se le debe asignar el mismo valor de Velocidad Específica que se le asignó cuando se realizó la simulación en el sentido creciente del abscisado.

6) Asignación de la Velocidad Específica (V_{CH}) definitiva a cada una de las curvas horizontales del tramo homogéneo

Como resultado de la asignación de las Velocidades Específicas simulando el recorrido en el sentido creciente del abscisado y luego en el sentido contrario, cada una de las curvas tiene asignadas dos Velocidades Específicas que pueden ser iguales ó diferentes. En el caso de que sean diferentes, la condición de seguridad indica que se debe asignar la mayor como Velocidad Específica definitiva de la curva horizontal

2.1.3.2. Velocidad en la entretangencia horizontal (V_{ETH})

Para la verificación de la Distancia de visibilidad de adelantamiento (V_a) en una entretangencia horizontal y para la asignación de la Velocidad Específica de una curva vertical (V_{CV}) incluida en dicha entretangencia es necesario establecer la probable velocidad a la que circularían los vehículos por ella.

En carreteras de una calzada, un vehículo puede ingresar a la entretangencia saliendo de la curva horizontal localizada en un extremo, que tiene una determinada Velocidad Específica (V_{CH}), ó saliendo de la curva localizada en el otro extremo, que también tiene su propia Velocidad Específica (V_{CH}). Los vehículos van a circular por la entretangencia a la velocidad a la que salieron de la curva siendo críticos los que entraron a la entretangencia desde la curva horizontal que presenta la Velocidad Específica mayor.

En consecuencia, la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.

2.1.3.3. Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV})

La Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV}), cóncava ó convexa, es la máxima velocidad a la que puede ser recorrida en condiciones de seguridad. Con ella se debe elegir su longitud y verificar la Distancia de visibilidad de parada (V_P). Si la curva vertical coincide con una curva horizontal que tiene una Velocidad Específica dada (V_{CH}), la Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la Velocidad Específica de la curva horizontal.

Si la curva vertical está localizada dentro de una entretangencia horizontal con una Velocidad Específica dada (V_{ETH}), la Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal.

2.1.3.4. Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})

Dado que la carretera es una sola, la velocidad específica con la que se diseñen los elementos geométricos en perfil debe coincidir con la velocidad específica asignada a los elementos geométricos en planta.

La pendiente máxima que se le puede asignar a una tangente vertical es la asociada a la velocidad específica de la entretangencia horizontal coincidente.

En consecuencia, La Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}) es igual a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

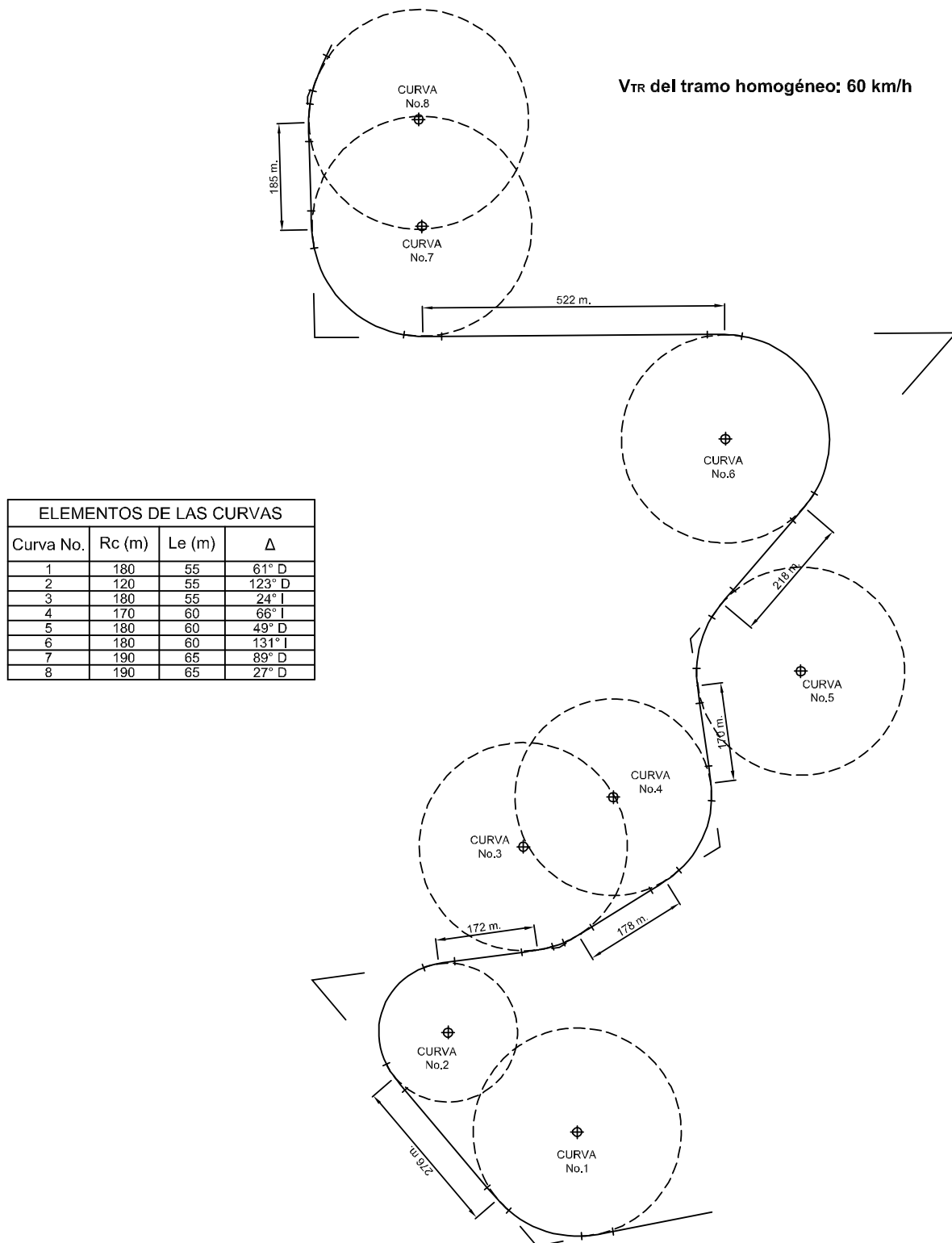


Figura 2.1a. – Asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales
V_{CH} – Diseño preliminar del eje en planta. Determinación de la longitud de los
segmentos rectos

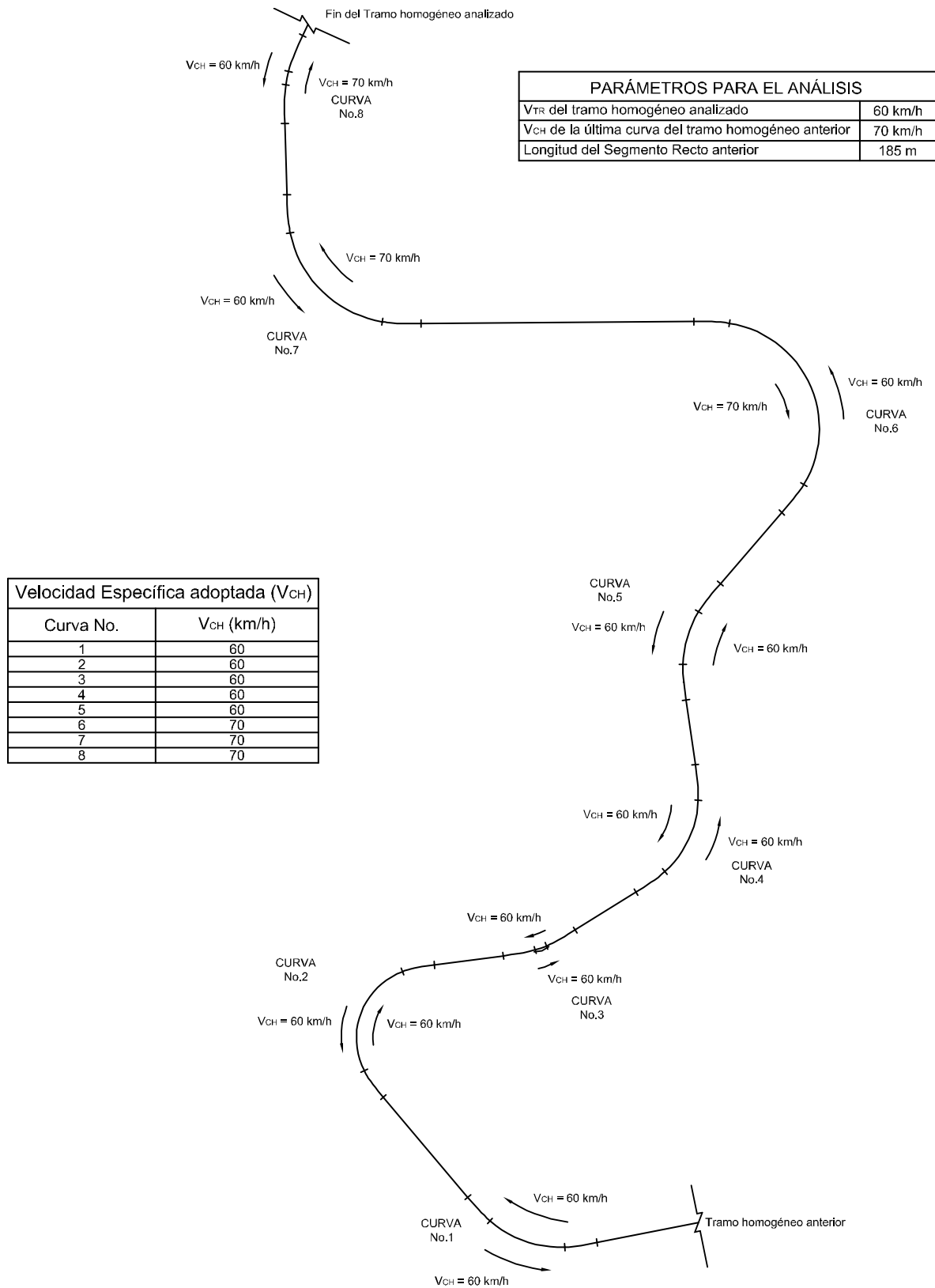


Figura 2.1b. – Asignación de la Velocidad Específica de las curvas horizontales
 V_{CH} – Asignación de la V_{CH} en uno y otro sentido de circulación

2.2. VEHÍCULO DE DISEÑO

2.2.1. Aspectos generales

El diseño geométrico de una vía está orientado a definir un trazado que facilite la circulación de los vehículos tanto en el sentido longitudinal como en su ubicación en el sentido transversal de la calzada. El vehículo representativo de todos los vehículos que puedan circular por dicha vía se denomina vehículo de diseño.

La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y sobreanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).

2.2.2. Tipos de vehículos

Para efectos del diseño geométrico se adopta la siguiente clasificación, en concordancia con lo estipulado por el Ministerio de Transporte en la Resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004.

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

Particularmente los vehículos livianos inciden en las velocidades máximas, en las distancias de visibilidad de parada y distancias de visibilidad de adelantamiento, mientras que los vehículos pesados (buses y vehículos de carga) lo hacen en la pendiente longitudinal y en la longitud crítica de pendiente.

2.2.2.1. Nomenclatura

En la Tabla 2.4 se presentan los vehículos de diseño adoptados en el presente Manual. Es pertinente indicar que para efectos de los radios de giro requeridos en el diseño de enlaces en intersecciones y sobreancho en curvas de radios reducidos se consideró que el vehículo articulado 3S2 representa adecuadamente los vehículos 3S2 y 3S3.

Tabla 2.4.
Nomenclatura empleada para la descripción de los vehículos de diseño

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

2.2.2.2. Dimensiones y trayectorias de giro

Los radios mínimos de giro de un vehículo que se deben tener en cuenta en el diseño geométrico de las calzadas son: la trayectoria de la proyección delantera exterior del ancho del vehículo, la trayectoria de la rueda interior trasera y el radio mínimo de giro del eje central del vehículo. Las dos primeras trayectorias (exterior e interior) definen un espacio mínimo absoluto al realizar un giro de 180°, espacio que es indispensable controlar en el diseño de las calzadas de enlace en intersecciones y retornos y en el cálculo de sobreanchos. Las principales dimensiones se resumen en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5.
Dimensiones principales de los vehículos de diseño

CATEGORÍA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m)	LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m)	FIGURA No.
Vehículo liviano	5.00	1.80	-	-	2.2.
Bus mediano	10.91	2.44	-	-	2.3.
Bus grande	13.00	2.60	-	-	2.4.
2	11.00	2.50	-	-	2.5.
3	11.40	2.50	-	-	2.6.
3S2	20.89	2.59	4.57	14.63	2.7.

En las Figuras 2.2 a 2.7 se pueden observar las trayectorias de giro para los vehículos de diseño adoptados en el presente Manual, vehículos que son representativos de las características promedio del parque automotor que circulan por la red vial colombiana.

2.3. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Una de las características más importantes que debe ofrecer el trazado de una carretera al conductor de un vehículo es la posibilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente

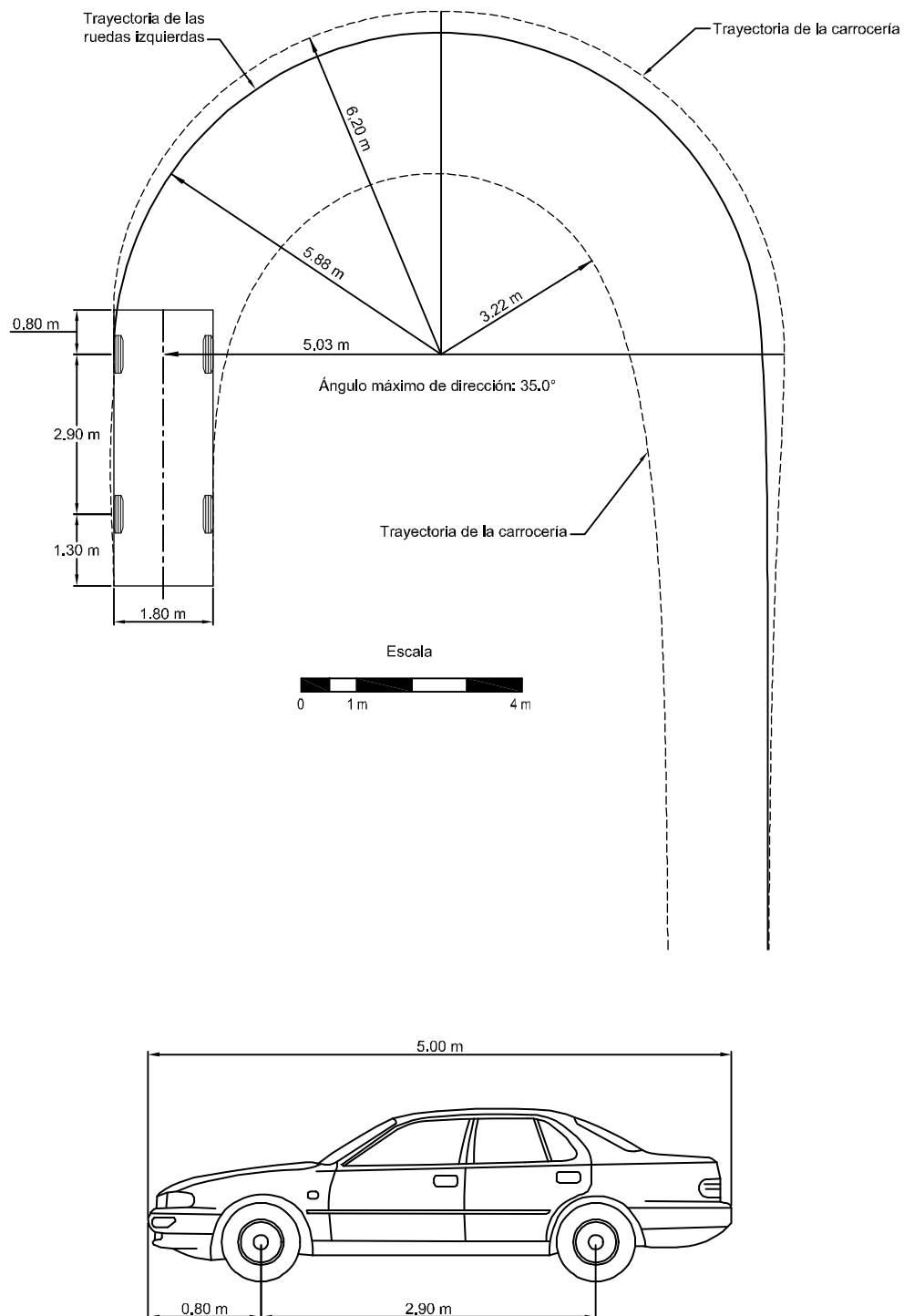


Figura 2.2. – Dimensiones y trayectorias de giro para Vehículo liviano.

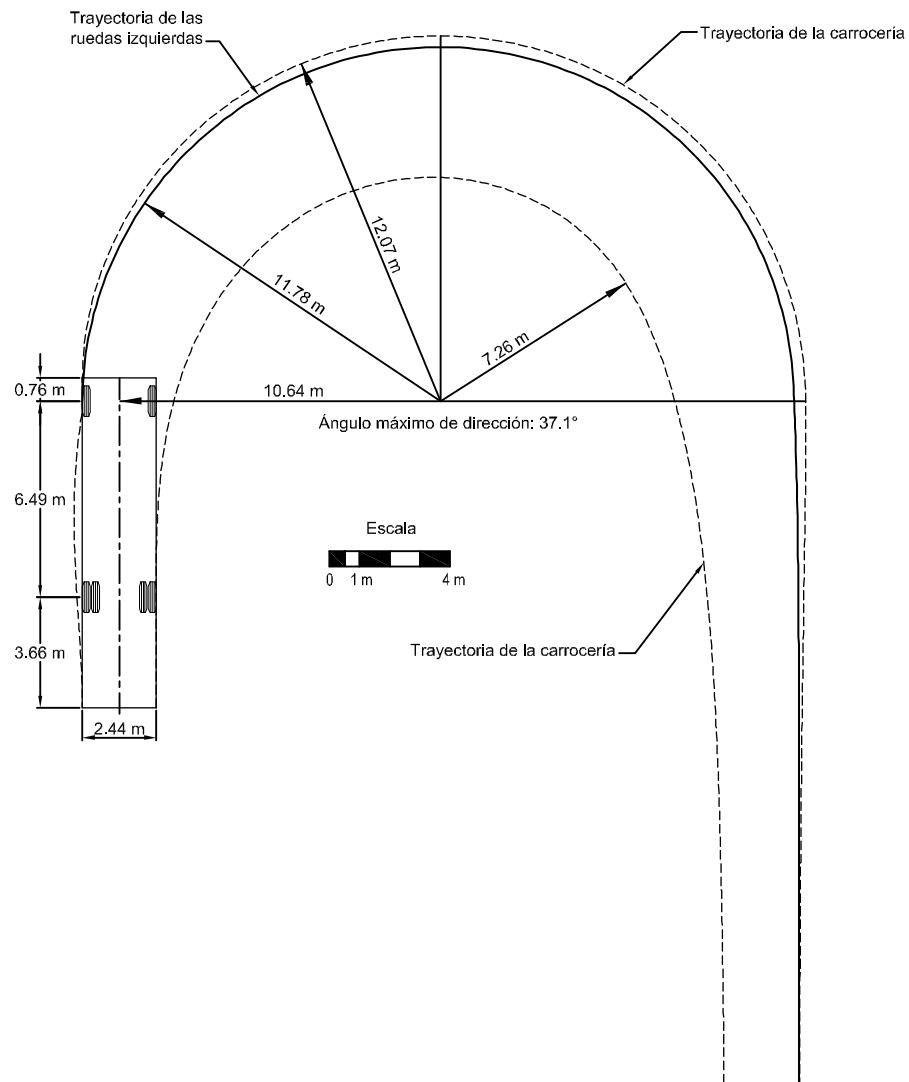


Figura 2.3. - Dimensiones y trayectorias de giro para Bus mediano.

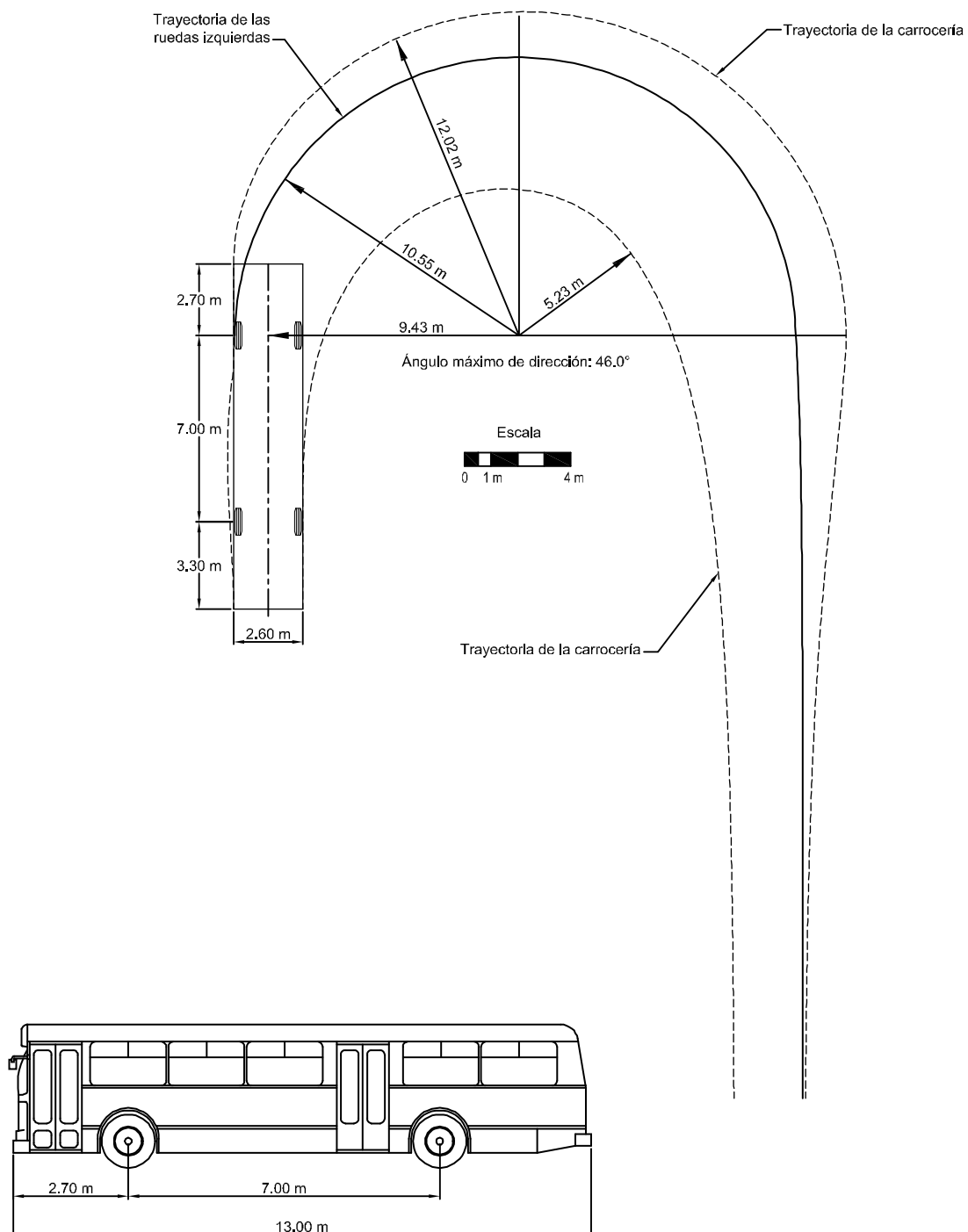


Figura 2.4. - Dimensiones y trayectorias de giro para Bus grande.

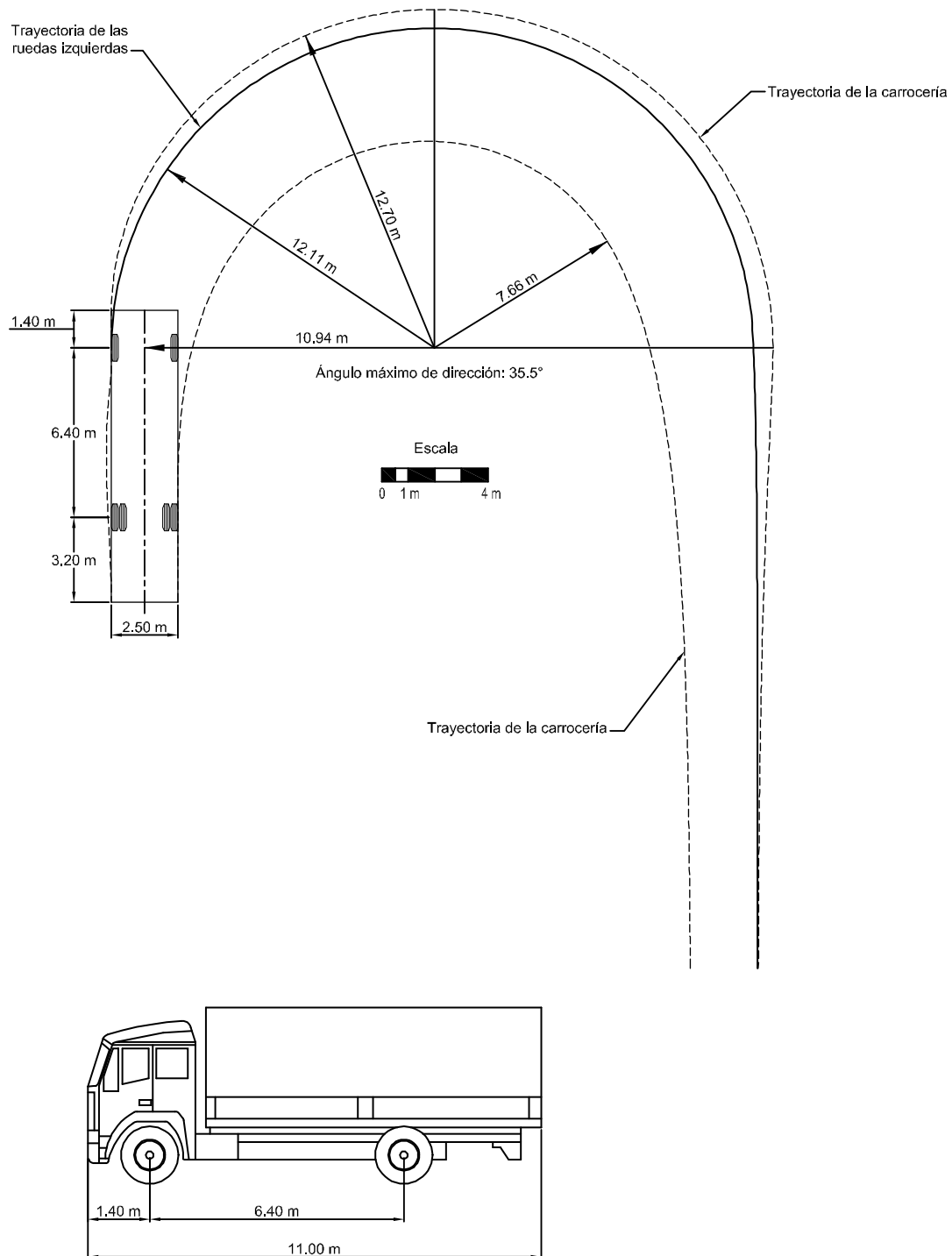


Figura 2.5. - Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 2.

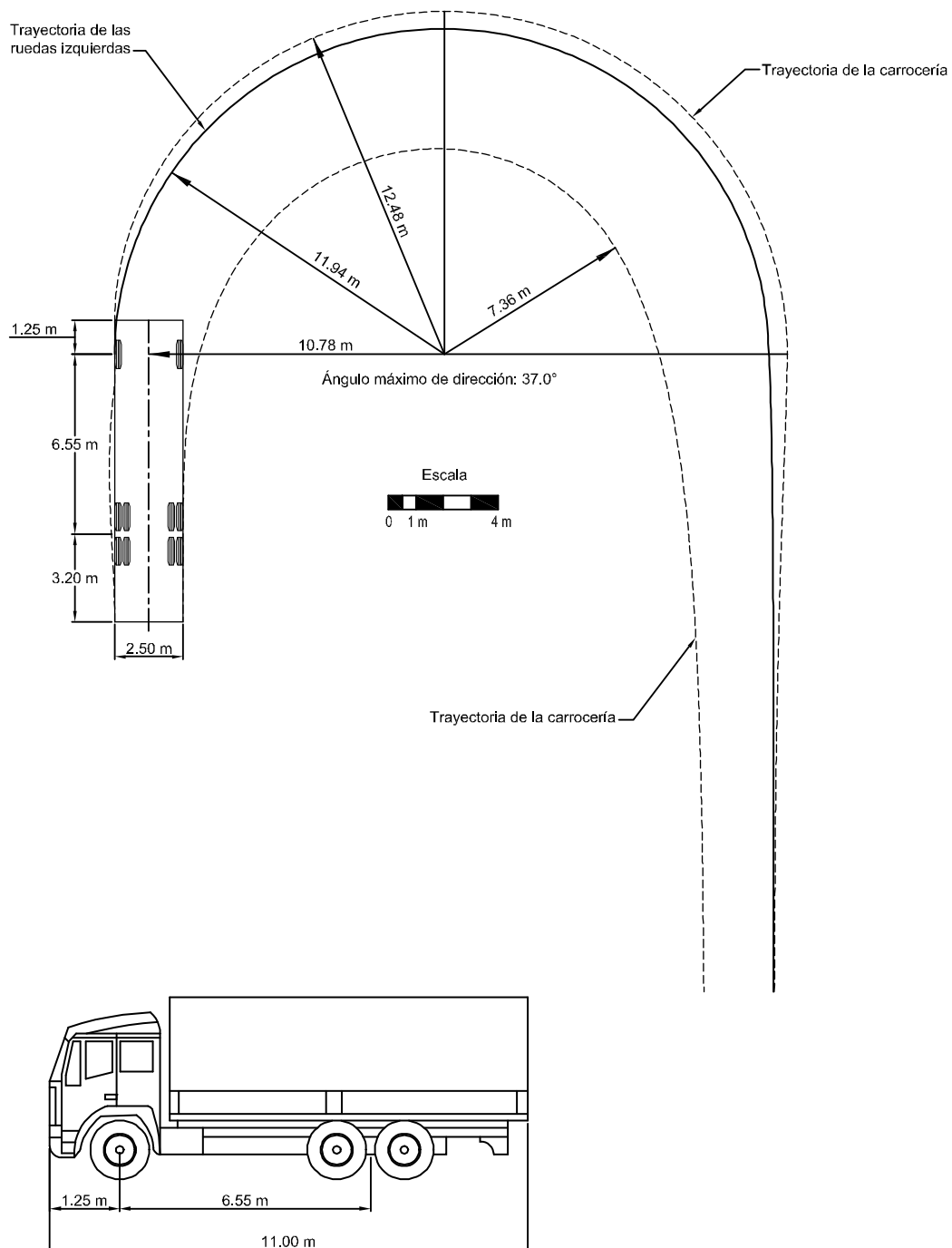


Figura 2.6. - Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 3.

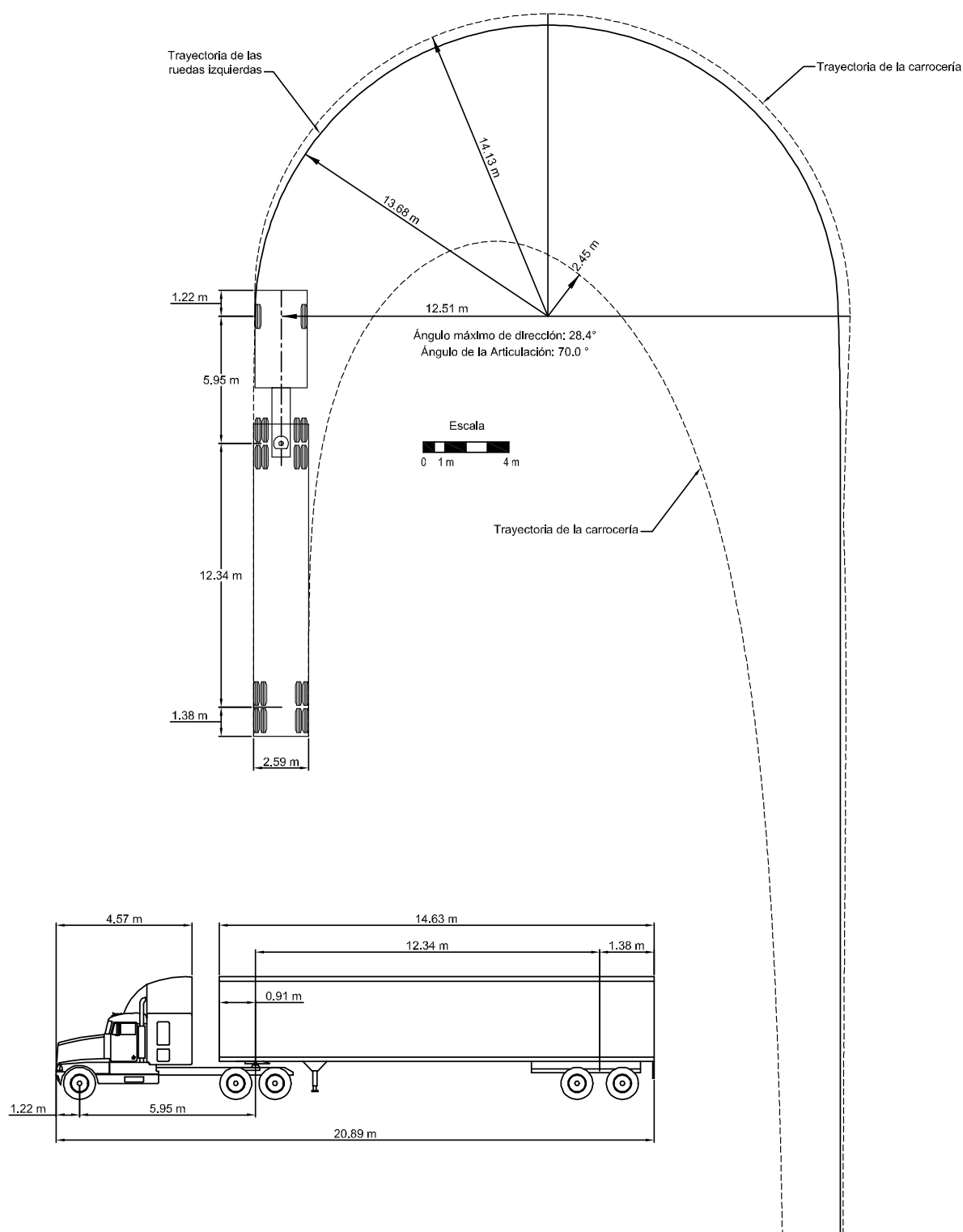


Figura 2.7. - Dimensiones y trayectorias de giro para Camión Categoría 3S2.

La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella. De acuerdo con estos criterios se deberán tener en cuenta en el diseño de la carretera tres tipos de distancias de visibilidad, las cuales se presentan en los numerales siguientes.

2.3.1. Distancia de visibilidad de parada (D_P)

Se considera como distancia de visibilidad de parada de un determinado punto de una carretera, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo que aparezca en su trayectoria al circular a la velocidad específica del elemento (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}) en el cual se quiere verificar esta distancia de visibilidad.

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

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (adoptado en dos y medio segundos (2.5 s) para efectos del proyecto) se mide desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos. En esta distancia se supone que el vehículo circula con movimiento uniforme a la velocidad específica del elemento.

La distancia recorrida durante el frenado se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente, circulando con movimiento uniformemente desacelerado con velocidad inicial igual a la velocidad específica del elemento. El valor de la desaceleración asumida es tal que no implica el bloqueo de las llantas al realizar el trabajo de frenado, aun en condiciones de pavimento húmedo. Este estudio fue realizado por la AASHTO y presentado en el Manual de Diseño Geométrico de AASHTO – 2004.

La distancia de visibilidad de parada para pavimentos húmedos, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_P = 0.278 \times V_e \times t + 0.039 \times \frac{V_e^2}{a}$$

Donde: D_P : Distancia de Visibilidad de parada, en metros.

V_e : Velocidad Específica del elemento sobre el cual se ejerce la maniobra de frenado (V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} o V_{TV}), en km/h.

t : Tiempo de percepción – reacción, igual a 2.5 s.

a: Rata de desaceleración, igual a 3.4 m/s^2 .

Realizando la corrección numérica, la expresión es:

$$D_P = 0.695 \times V_e + \frac{V_e^2}{87.18}$$

En la Tabla 2.6 se presentan los valores recomendados para las distancias mínimas de visibilidad de parada para diferentes velocidades de diseño, para tramos de rasantes a nivel (pendiente = 0%).

Para carreteras con pendientes de rasante superiores a tres por ciento (3%), tanto en ascenso (+p) como en descenso (-p), se deberán realizar las correcciones necesarias a las distancias de visibilidad de parada dadas en la Tabla 2.6 para tramos a nivel. Con la siguiente ecuación se puede calcular la distancia recorrida durante el frenado (d) afectada por la pendiente de la rasante.

$$d = \frac{V_e^2}{254 \times \left(\frac{a}{9.81} \pm \frac{p}{100} \right)}$$

Donde: d: Distancia recorrida durante el trabajo de frenado, en metros.

p: Pendiente de la rampa, en porcentaje

La distancia corregida de visibilidad de parada en tramos con pendientes mayores a tres por ciento (3%) es:

$$D_P = 0.695 \times V_e + d$$

En la Tabla 2.7 se indican las distancias de visibilidad de parada en tramos con pendientes mayores a tres por ciento (3%).

Tabla 2.6.
Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel

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

Tabla 2.7.
Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente

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

2.3.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a)

Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de adelantamiento, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento debe considerarse únicamente para las carreteras de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto.

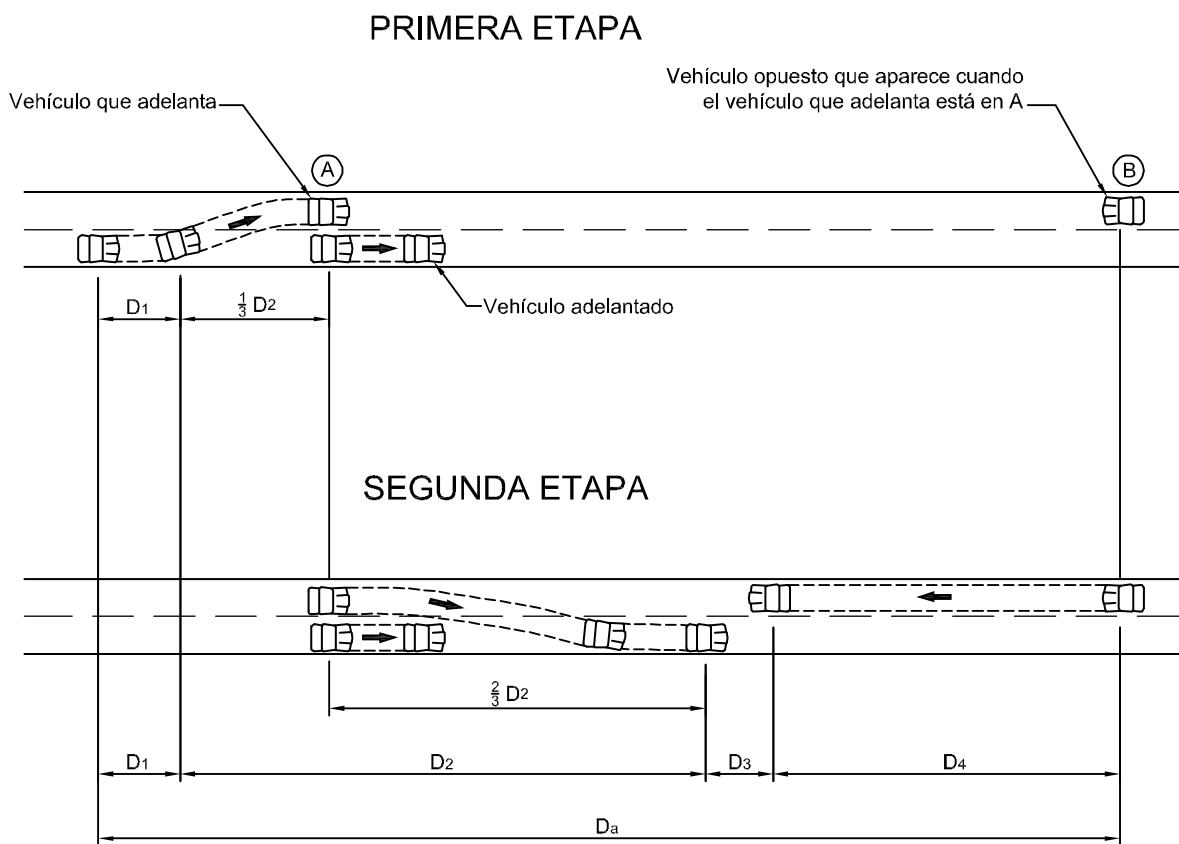


Figura 2.8. - Distancia de visibilidad de adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento, de acuerdo con la Figura 2.8, se determina como la suma de cuatro distancias, así:

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$$

Donde: D_a : Distancia de visibilidad de adelantamiento, en metros.

- D_1 : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción, en metros.
- D_2 : Distancia recorrida por el vehículo que adelanta durante el tiempo desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, en metros.
- D_3 : Distancia de seguridad, una vez terminada la maniobra, entre el vehículo que adelanta y el vehículo que viene en la dirección opuesta, en metros.
- D_4 : Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto (estimada en $2/3$ de D_2), en metros.

Se utilizarán como guías para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento la Figura 2.8 y los valores indicados en el Manual AASHTO – 2004 que se presentan en la Tabla 2.8 para cuatro (4) rangos de Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

Por seguridad, la maniobra de adelantamiento se calcula con la velocidad específica de la entretangencia horizontal en la que se efectúa la maniobra.

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

- Donde:
- t_1 : Tiempo de la maniobra inicial, en segundos.
 - V : Velocidad del vehículo que adelanta, en km/h.
 - a : Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el adelantamiento, en km/h/s.
 - m : Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a 15 km/h en todos los casos.

El valor de las anteriores variables se indica en la Tabla 2.8 expresado para rangos de velocidades de 50-65, 66-80, 81-95 y 96-110 km/h. En la misma Tabla 2.8 se presentan los ejemplos de cálculo para ilustrar el procedimiento.

$$D_2 = 0.278 \times V \times t_2$$

- Donde:
- V : Velocidad del vehículo que adelanta, en km/h.
 - t_2 : Tiempo empleado por el vehículo al realizar la maniobra para volver a su carril, en segundos.

El valor de t_2 se indica en la Tabla 2.8.

D_3 = distancia variable entre 30 y 90 m

El valor de esta distancia de seguridad (D_3) para cada rango de velocidades se indica en la Tabla 2.8.

$$D_4 = \frac{2}{3} D_2$$

Tabla 2.8.

Elementos que conforman la distancia de adelantamiento y ejemplos de cálculo

COMPONENTE DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO	RANGO DE VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA V_{ETH} (km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, V (km/h)			
	56.2 ¹	70 ¹	84.5 ¹	99.8 ¹
Maniobra inicial:				
a: Promedio de aceleración (Km/h/s)	2.25	2.3	2.37	2.41
t_1 : Tiempo (s)	3.6	4	4.3	4.5
d_1 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	45	66	89	113
Ocupación del carril contrario:				
t_2 : Tiempo (s)	9.3	10	10.7	11.3
d_2 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad:				
d_3 : Distancia de recorrido en la maniobra (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto:				
d_4 : Distancia recorrida en la maniobra (m)	97	130	168	209
$D_a = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	317	446	583	726

¹ Valores típicos para efectos del ejemplo de cálculo de las distancias d_1 , d_2 , d_3 , d_4 y D_a .

En la Tabla 2.9 se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a), calculados con los anteriores criterios para carreteras de dos carriles dos sentidos.

Tabla 2.9.
Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles
dos sentidos

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA V_{ETH} (km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, V (km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_A (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20 ¹	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

¹ Valor obtenido por extrapolación

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

Como guía, en la Tabla 2.10 se recomienda la frecuencia con la que se deben presentar las oportunidades de adelantar o el porcentaje mínimo habilitado para adelantamiento en el tramo, de acuerdo a la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}).

Tabla 2.10.
Oportunidades de adelantar por tramos de cinco kilómetros

VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)	20-50	60-80	90-100
PORCENTAJE MÍNIMO DE LA LONGITUD CON DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (%)	20%	30%	40%

2.3.3. Distancia de visibilidad de cruce (D_c)

La presencia de intersecciones rurales a nivel, hace que potencialmente se puedan presentar una diversidad de conflictos entre los vehículos que circulan por una y otra calzada. La posibilidad de que estos conflictos ocurran, puede ser ampliamente reducida mediante la provisión apropiada de distancias de visibilidad de cruce y de dispositivos de control acordes.

El conductor de un vehículo que se aproxima por la calzada principal a una intersección a nivel, debe tener visibilidad, libre de obstrucciones, de toda la intersección y de un tramo de la calzada secundaria de suficiente longitud que le permita reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar una colisión.

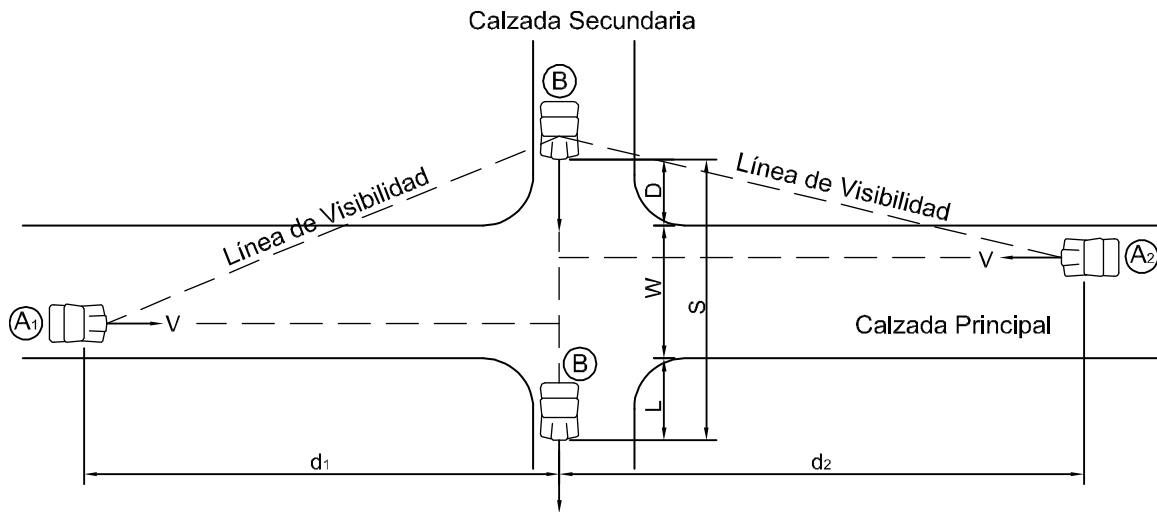
La distancia mínima de visibilidad de cruce considerada como segura, bajo ciertos supuestos sobre las condiciones físicas de la intersección y del comportamiento del conductor, se halla relacionada directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante el tiempo percepción - reacción y el correspondiente de frenado.

Por lo anterior, en las intersecciones a nivel deberá existir visibilidad continua a lo largo de las calzadas que se cruzan, incluyendo sus esquinas, que le permita a los conductores que simultáneamente se aproximan, verse mutuamente con la debida anticipación y así evitar colisiones. Ante una situación de éstas, el conductor que circula por la calzada secundaria deberá tener la posibilidad de disminuir la velocidad y parar en la intersección con la calzada principal.

Las relaciones entre el espacio, el tiempo y la velocidad, definen el triángulo de visibilidad requerido, libre de obstrucciones, o el establecimiento de las modificaciones necesarias en la velocidad de aproximación a los accesos cuando se usa un triángulo de visibilidad de dimensiones menores a la requerida. El triángulo de visibilidad en la aproximación a los accesos de una intersección se muestra en la Figura 2.9. Por lo tanto, cualquier objeto ubicado dentro del triángulo de visibilidad, lo suficientemente alto, que se constituya en una obstrucción a la visibilidad lateral, deberá ser removido.

Por otra parte, después de que un vehículo se ha detenido en el acceso de una intersección por la presencia de una señal de "PARE", su conductor deberá tener la suficiente distancia de visibilidad para realizar una maniobra segura a través del área de la intersección, ya sea para cruzar de frente la calzada principal o para girar a la derecha o a la izquierda sobre ella.

Simultáneamente se deberá proveer la suficiente distancia de visibilidad a los conductores que viajan sobre la calzada principal, la cual deberá ser al menos igual a la distancia que recorre el vehículo sobre la calzada principal durante el tiempo que le toma al vehículo de la calzada secundaria realizar su maniobra de cruce o giro. La Figura 2.9 muestra el triángulo de visibilidad requerido bajo esta condición.



INTERSECCIÓN CON SEÑAL DE PARE EN LA CALZADA SECUNDARIA

Figura 2.9. - Distancia de visibilidad en intersecciones. Triángulo mínimo de visibilidad

La distancia de visibilidad para una maniobra de cruce de la calzada principal por un vehículo detenido en la calzada secundaria, está basada en el tiempo que le toma a este vehículo en despejar la intersección, y la distancia que recorre un vehículo sobre la calzada principal a la velocidad de diseño durante el mismo tiempo.

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

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

- Donde:
- d: Distancia mínima de visibilidad lateral requerida a lo largo de la calzada principal, medida desde la intersección, en metros. Corresponde a las distancias d₁ y d₂ de la Figura 2.9.
 - V_e: Velocidad Específica de la calzada principal, en km/h. Corresponde a la Velocidad específica del elemento de la calzada principal inmediatamente antes del sitio de cruce.
 - t₁: Tiempo de percepción – reacción del conductor que cruza, adoptado en dos y medio segundos (2.5 s).
 - t₂: Tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S, cruzando la calzada principal, en segundos.

En t_1 está incluido el tiempo necesario para que el conductor de un vehículo detenido por el "PARE" sobre la vía secundaria vea en ambas direcciones sobre la vía principal y deduzca si dispone del intervalo suficiente para cruzarla con seguridad y para que engrane su velocidad, previamente al arranque.

El tiempo t_2 necesario para recorrer la distancia S depende de la aceleración de cada vehículo. La distancia S se calcula como la suma de:

$$S = D + W + L$$

Donde: D: Distancia entre el vehículo parado y la orilla de la calzada principal, adoptada como tres metros (3.0 m).

W: Ancho de la calzada principal, en metros.

L: Longitud total del vehículo, en metros.

Por lo tanto, el valor de t_2 , se debe obtener de la expresión:

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

Donde: D: Tres metros (3.0 m).

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

L: Depende del tipo de vehículo, así:

- 20.89 m para vehículos articulados (tracto camión son semirremolque).
- 11.00 m para camión de dos ejes
- 5.00 m para vehículos livianos

a: Aceleración del vehículo que realiza la maniobra de cruce, en m/s^2 .

- 0.055 para vehículos articulados.
- 0.075 para camiones de dos ejes (2).
- 0.150 para vehículos livianos.

En la Tabla 2.11 se presentan las distancias mínimas de visibilidad, requeridas para cruzar con seguridad la intersección en ángulo recto de una calzada principal de ancho de calzada siete metros con treinta centímetros (7.30 m) y dos sentidos de circulación, partiendo desde la posición de reposo en la calzada secundaria ante una señal de "PARE", para diferentes tipos de vehículos.

Para vías con anchos superiores, o mayor número de carriles, o con separador central, se deberán utilizar las expresiones anteriores, para calcular la distancia mínima de visibilidad lateral.

Tabla 2.11.

Distancias mínimas de visibilidad requeridas a lo largo de una calzada principal con ancho 7.30 m, con dispositivo de control en la calzada secundaria

VELOCIDAD ESPECÍFICA EN LA CALZADA PRINCIPAL km/h	DISTANCIA A LO LARGO DE LA VÍA PRINCIPAL A PARTIR DE LA INTERSECCIÓN d_1, d_2		
	TIPO DE VEHÍCULO QUE REALIZA EL CRUCE		
	LIVIANO L=5.00 m	CAMIÓN DE DOS EJES L=11.00 m	TRACTO CAMIÓN DE TRES EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES L=20.89 m
40	80	112	147
50	100	141	184
60	120	169	221
70	140	197	258
80	160	225	295
90	180	253	332
100	200	281	369

2.3.4. Procedimiento para verificar el cumplimiento de las distancias de visibilidad

Este procedimiento se puede realizar utilizando programas de computador que permitan la verificación automática de las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, o se puede efectuar la verificación en abscisas particulares del proyecto, usualmente cada veinte o veinticinco metros (20 o 25 m), sobre los planos Planta – perfil, en ambos sentidos de circulación. De esta manera el diseñador podrá apreciar de conjunto todo el trazado y realizar un proyecto más equilibrado.

En carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación, se deben medir las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento; en carreteras de dos calzadas separadas es suficiente el análisis de visibilidad de parada.

Para efecto de la medición de las distancias de visibilidad se deben considerar las siguientes alturas:

- Altura de los ojos del conductor, medida sobre la superficie del pavimento: un metro con diez centímetros (1.10 m).
- Altura del objeto que debe ver el conductor y que obliga a parar: veinte centímetros (0.20 m).

- Altura del objeto en la maniobra de adelantamiento, que cubre la altura de la mayoría de los autos: un metro con treinta y cinco centímetros (1.35 m).

2.3.4.1. Evaluación y presentación de la visibilidad en planta

Como la visibilidad en planta está limitada por la presencia de obstrucciones laterales tales como puentes, edificaciones, vallas, cercas, vegetación alta, etc., es necesario que ellas aparezcan en los planos para realizar la evaluación. Cuando la obstrucción se debe a los taludes de las secciones en corte, se deben dibujar en la planta las líneas o trazas del talud a sesenta y cinco centímetros (0.65 m) (promedio entre 1.10 y 0.20 m) sobre la calzada para distancias de visibilidad de parada y a un metro con veintitrés centímetros (1.23 m) (promedio entre 1.10 y 1.35 m) para distancia de visibilidad de adelantamiento.

Par ilustrar cómo se realiza la medición de las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento en planta, a manera de ejemplo, en la parte superior de la Figura 2.10, el vehículo que pasa por la sección de abscisa K4+000 y que circula por la derecha, en cada caso (traza de talud a sesenta y cinco centímetros (0.65 m) y a un metro con veintitrés centímetros (1.23 m)), dispondrá aproximadamente en planta de cien metros (100 m) como distancia de visibilidad de parada y de ciento veinte metros (120 m) como distancia de visibilidad de adelantamiento.

Si las anteriores distancias son mayores que las distancias mínimas de parada y adelantamiento calculadas a las velocidades específicas del elemento que se está evaluando (Tablas 2.6 y 2.9), se dice entonces que en planta el tramo a partir de la abscisa K4+000 tiene suficiente distancia de visibilidad como para que el conductor de un vehículo que circula a esa velocidad pueda realizar con seguridad una maniobra de parada o de adelantamiento.

2.3.4.2. Evaluación de la visibilidad en perfil

Se recomienda el empleo de una reglilla transparente o de plástico, de bordes paralelos separados un metro con treinta y cinco centímetros (1.35 m) a la escala vertical del perfil, con dos líneas paralelas situadas a veinte centímetros (0.20 m) y a un metro con diez centímetros (1.10 m) del borde superior.

La parte inferior de la Figura 2.10 ilustra la forma como se debe realizar la verificación de las distancias de visibilidad en perfil para un vehículo ubicado en la sección de abscisa K4+035. En esta abscisa de la rasante se coloca el “cero” de la reglilla, la cual se gira hasta que su borde superior sea tangente al perfil del proyecto. En estas condiciones, la distancia desde la estación lineal (K4+035) hasta el punto del perfil interceptado por la paralela a veinte centímetros (0.20 m) indicará la distancia de visibilidad de parada disponible en el perfil, noventa metros (90 m) en este caso. De igual manera, la distancia desde la estación inicial (K4+035) hasta el punto del perfil interceptado por la paralela a un metro con treinta y cinco centímetros (1.35 m) indicará la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible, ciento treinta y cinco metros (135 m) en este caso.

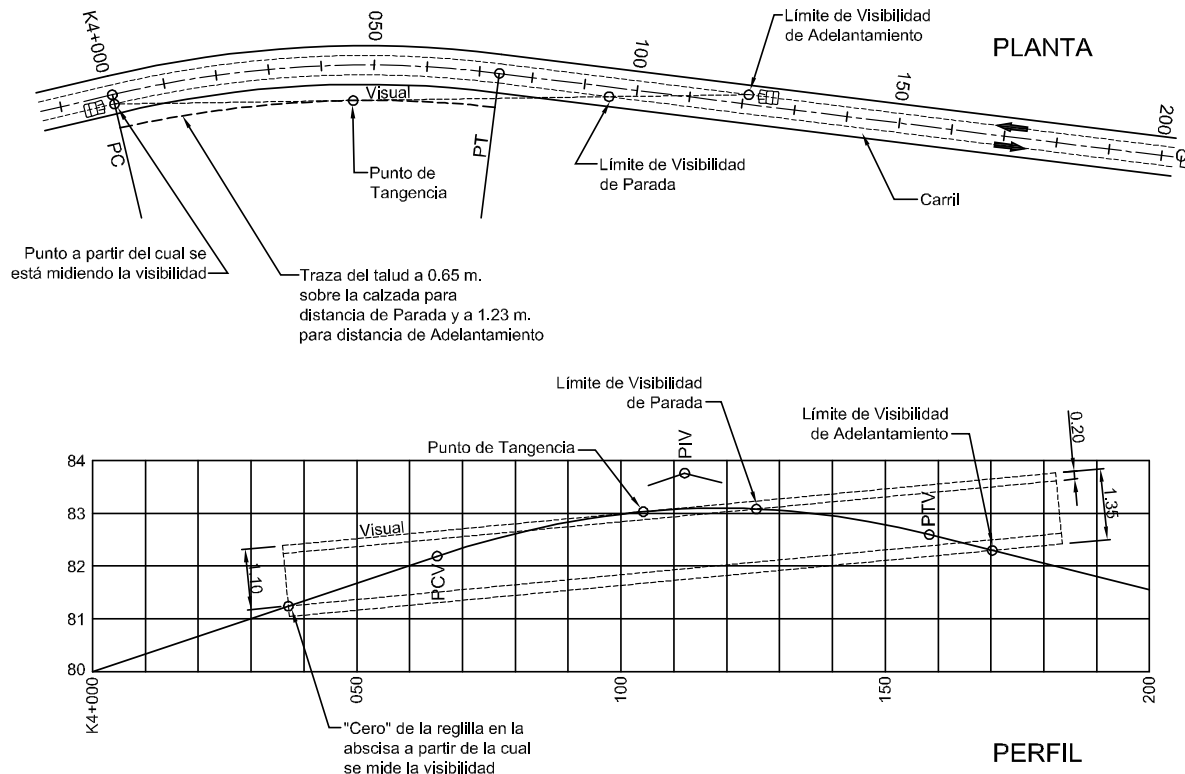


Figura 2.10. - Evaluación y presentación de las distancias de visibilidad en planos

De nuevo, si las anteriores distancias son mayores que las distancias mínimas de parada y adelantamiento calculadas a la velocidad específica del elemento que se está evaluando (Tablas 2.7 y 2.9), se dice entonces que en perfil el tramo a partir de la abscisa K4+035 tiene suficiente distancia de visibilidad para que el conductor de un vehículo que circula a esa velocidad pueda realizar con seguridad una maniobra de parada o de adelantamiento.

CAPÍTULO 3

DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA



CAPITULO 3. DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA

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

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

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

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

Es preferible reemplazar grandes alineamientos (superiores a un kilómetro con quinientos metros (1.5 km)), por curvas amplias de grandes radios (dos mil a diez mil metros (2000 a 10000 m)) que obliguen al conductor a modificar suavemente su dirección y mantener despierta su atención.

Para vías de sentido único no tiene sentido utilizar radios superiores a diez mil metros (10000 m). En el caso de doble vía (en ambos sentidos), las condiciones de visibilidad pueden implicar radios de gran magnitud.

3.1. CURVAS HORIZONTALES

3.1.1. Empalmes básicos. Descripción y cálculo de los elementos geométricos

A continuación se hace la descripción general de las curvas y se indican los elementos que conforman los diferentes tipos de curvas, dejando a la academia y a los libros de texto dedicados al diseño geométrico de carreteras, las demostraciones de las fórmulas que definen la diferentes variables del diseño.

3.1.1.1. Empalme circular simple

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

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

PC: Punto de inicio del empalme.

PT: Punto final del empalme.

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

R: Radio del arco circular, en metros.

L_c : Longitud del arco circular, en metros.

T: Tangente del empalme, en metros.

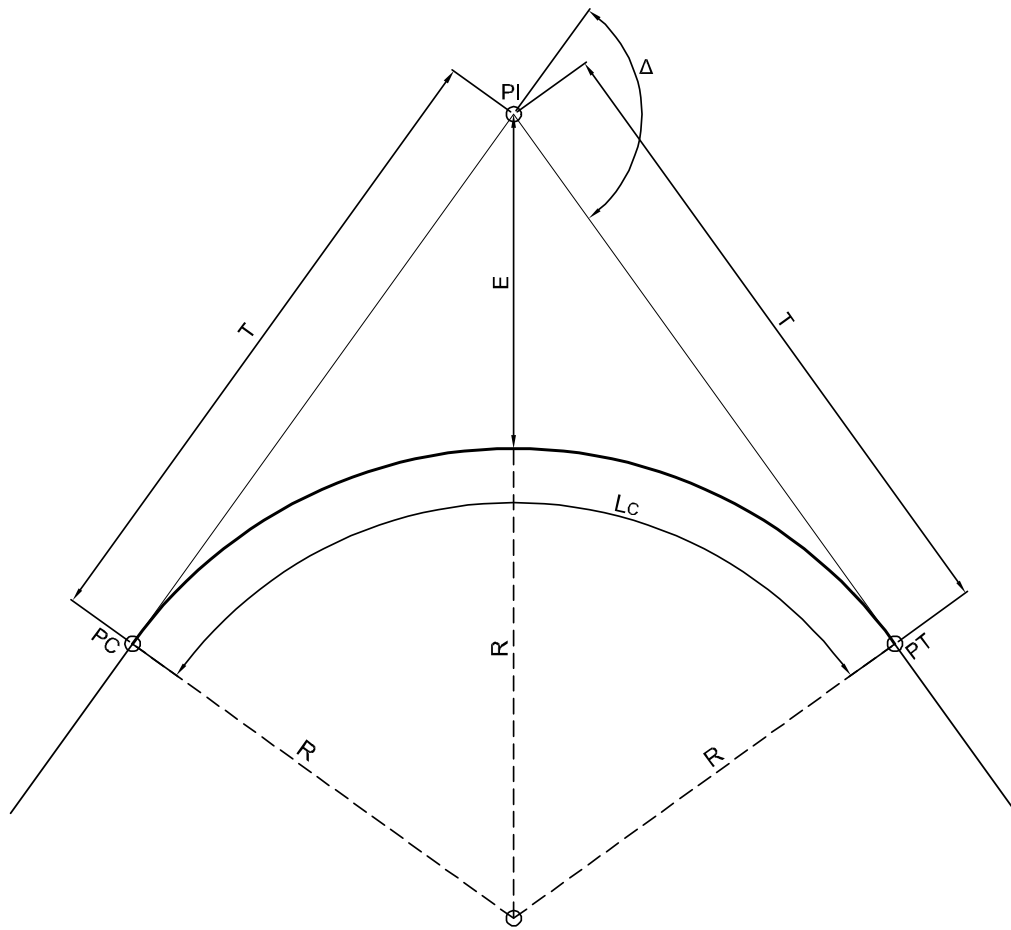


Figura 3.1 - Elementos del empalme circular simple

$$L_c = R_x \Delta ; \Delta \text{ en radianes}$$

$$T = R_x \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right); \Delta \text{ en grados}$$

$$E = T_x \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right); \Delta \text{ en grados}$$

3.1.1.2. Empalme espiral clotoide

Este tipo define el empalme entre una recta y arco circular de radio R_C . Es el empalme básico para conformar los diferentes tipos de curvas espiralizadas.

La espiral Clotoide corresponde a la espiral con más uso en el diseño de carreteras ya que sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos permiten obtener carreteras cómodas, seguras y estéticas.

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

- Un empalme espiral diseñado apropiadamente proporciona una trayectoria natural y fácil de seguir por los conductores, de tal manera que la fuerza centrífuga crece o decrece gradualmente, a medida que el vehículo entra o sale de una curva horizontal.
- La longitud de la espiral se emplea para realizar la transición del peralte y la del sobreancho entre la sección transversal en línea recta y la sección transversal completamente peraltada y con sobreancho de la curva.
- El desarrollo del peralte se hace en forma progresiva, logrando que la pendiente transversal de la calzada sea en cada punto, la que corresponda al respectivo radio de curvatura.
- La flexibilidad de la Clotoide y las muchas combinaciones del Radio con la Longitud permiten la adaptación del trazado a la topografía.

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 Clotoide se puede definir como un empalme tal que su radio es inversamente proporcional a su longitud. Por definición, en la Clotoide la curvatura varía gradualmente desde cero (0) en la tangente, hasta un valor máximo correspondiente al de la curva circular espiralizada, ya que el Radio de la curva, en cualquier punto de la espiral, varía con la distancia desarrollada a lo largo de la misma, manteniendo su parámetro A constante. Es decir, aún cuando el Radio y

la longitud de los distintos puntos de la Clotoide tienen diferentes valores, estos están ligados entre sí, de modo que su producto es un valor constante, pudiendo fácilmente calcular uno de ellos cuando se conoce el valor del otro. La ecuación fundamental de la espiral Clotoide es la siguiente:

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

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

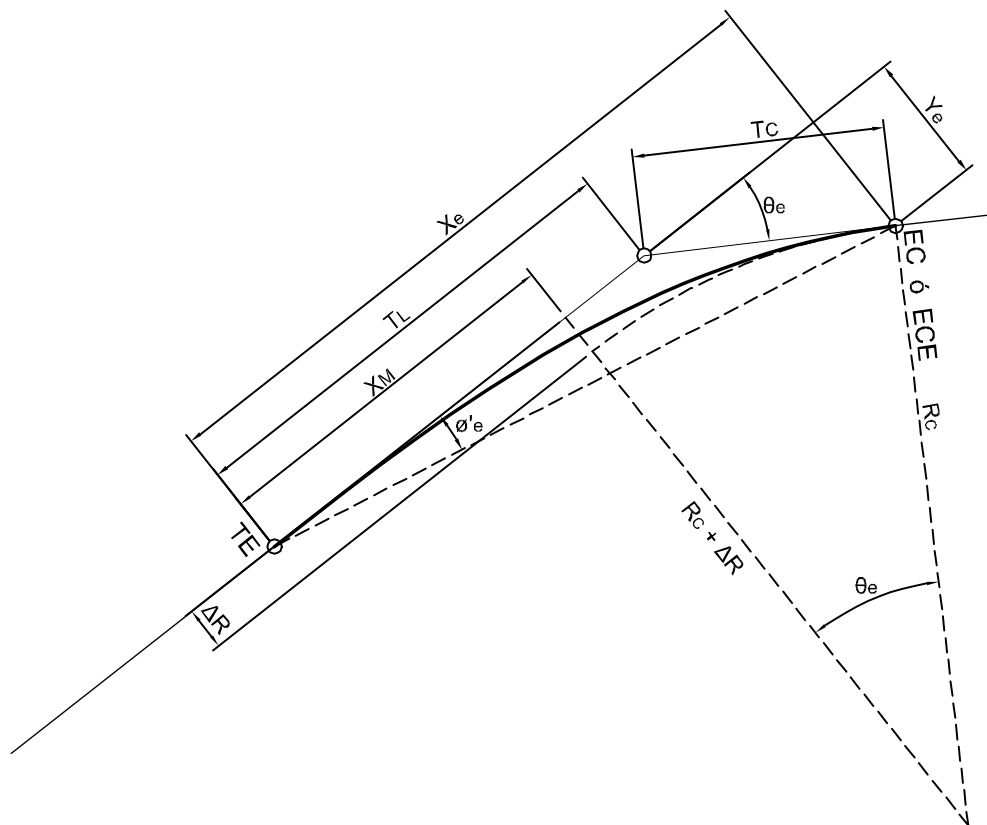


Figura 3.2 – Elementos del empalme espiral Clotoide

Elementos de la espiral clotoide

Los elementos de la clotoide (ver Figura 3.2.) se pueden determinar utilizando las siguientes expresiones matemáticas:

- Longitud del empalme espiral (L_e) donde el radio de la espiral es igual al Radio (R_c) del empalme con el que se empalma.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 (X_e, Y_e) en el punto EC (CE) del empalme espiral ubicado a una distancia L_e desde el origen.

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

$$Y_e = L_e \times \left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{75600} + \dots \right); \theta_e \text{ en radianes}$$

- Disloque de la espiral. Valor exacto.

$$\Delta R = Y_e + R_c \times (\cos \theta_e - 1); \theta_e \text{ en grados o}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\theta_e^2}{6} - \frac{\theta_e^4}{168} + \frac{\theta_e^6}{7920} - \frac{\theta_e^8}{604800} + \dots; \theta_e \text{ en radianes}$$

- Disloque de la espiral. Valor aproximado:

$$\Delta R = \frac{L_e^2}{24 \times R_c}; \text{ o también con } \Delta R = \frac{A^4}{24 \times R_c^3}$$

Con el valor aproximado del disloque 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 disloque requerido utilizando la ecuación exacta del disloque.

- Coordenadas del centro (X_M , Y_M) del arco circular cuyo radio es R_c

$$X_M = X_e - R_c \times \sin \theta_e; \theta_e \text{ en grados}$$

$$Y_M = R_c + \Delta R$$

- Longitud de la tangente larga

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

- Longitud de la Tangente Corta

$$T_C = \frac{Y_e}{\sin \theta_e}$$

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

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

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

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

3.1.1.3. Empalme espiral – círculo - espiral

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

Elementos del empalme espiral – círculo – espiral simétrico

Los elementos del empalme son los ya indicados en los numerales 3.1.1.1 y 3.1.1.2. Círculo y espiral Clotoide. El conjunto del empalme espiralizado formado por una espiral de entrada, un arco circular central y una espiral de salida tiene además los siguientes elementos:

- Deflexión en el PI o deflexión total del empalme:

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

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

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

- Longitud del empalme circular:

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

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 (V_{CH}) del elemento durante dos segundos (2 s), es decir:

$$L_c \text{ mín} = 0.556 \times V_{CH} ; V_{CH} : \text{Velocidad Específica en km/h}$$

- Tangente del sistema de empalme:

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

- Externa del sistema de empalme:

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

La Figura 3.3, muestra la localización de cada uno de los elementos geométricos de un empalme espiral- círculo – espiral simétrico.

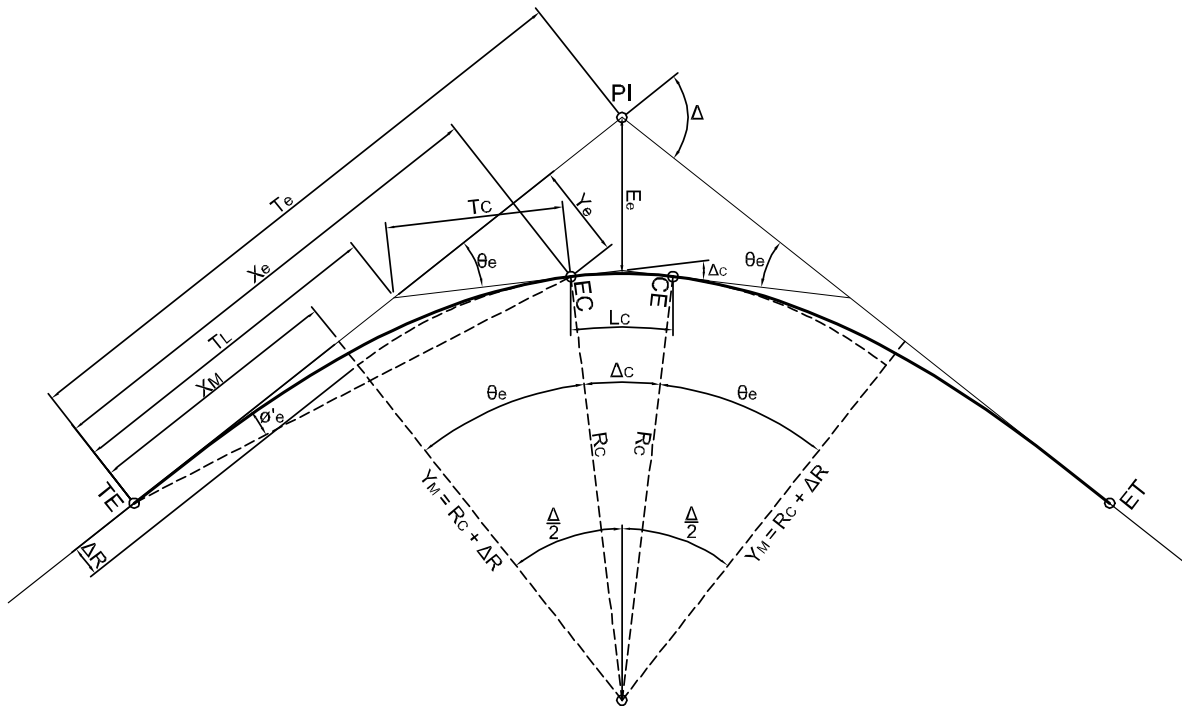


Figura 3.3. – Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico)

Elementos del empalme espiral – círculo – espiral asimétrico

De igual forma que el caso anterior los elementos de las espirales Clotoide que forman el empalme son los indicados en el numeral 3.1.1.2. 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: A_1 , A_2 , L_{e1} , L_{e2} , 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:

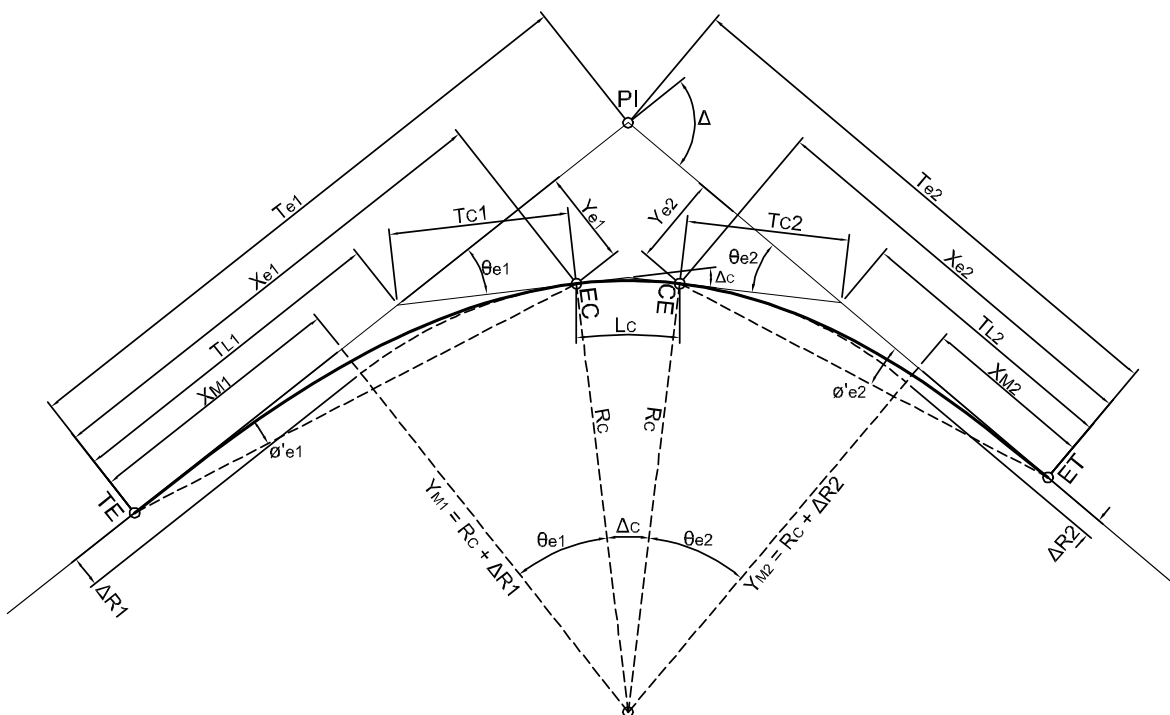


Figura 3.4a. – Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)

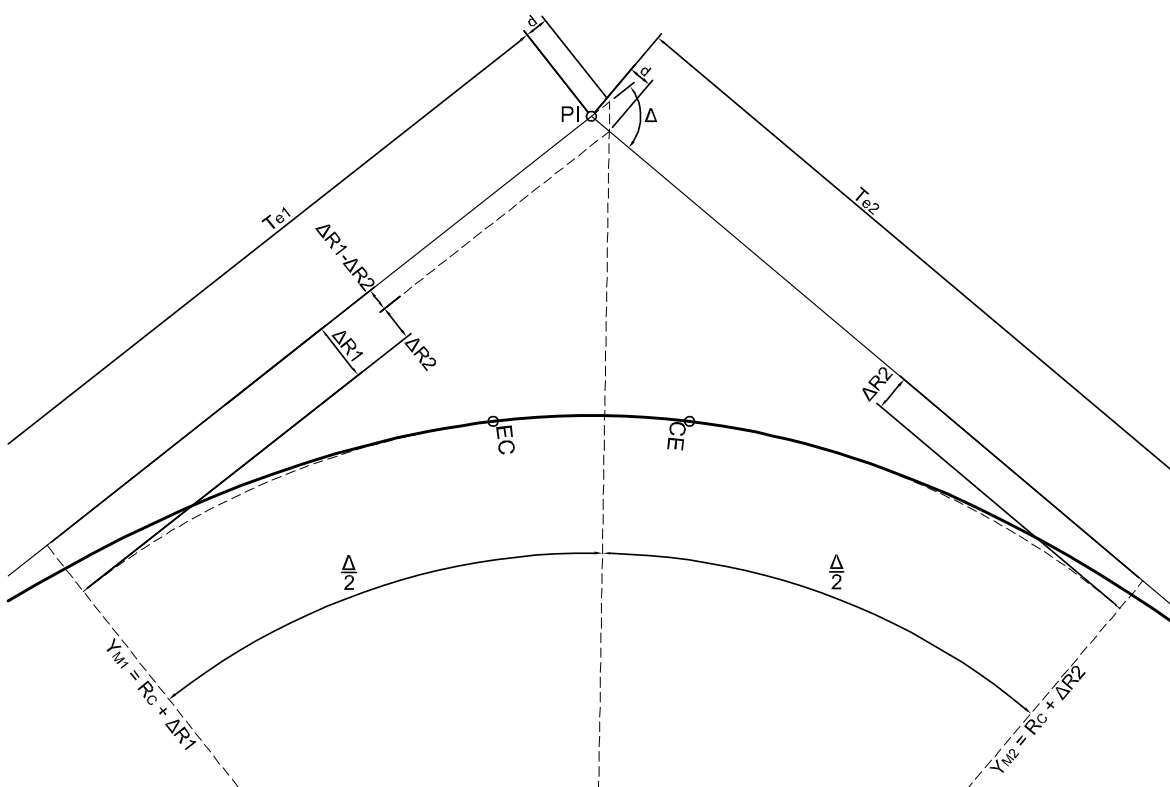


Figura 3.4b. – Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)

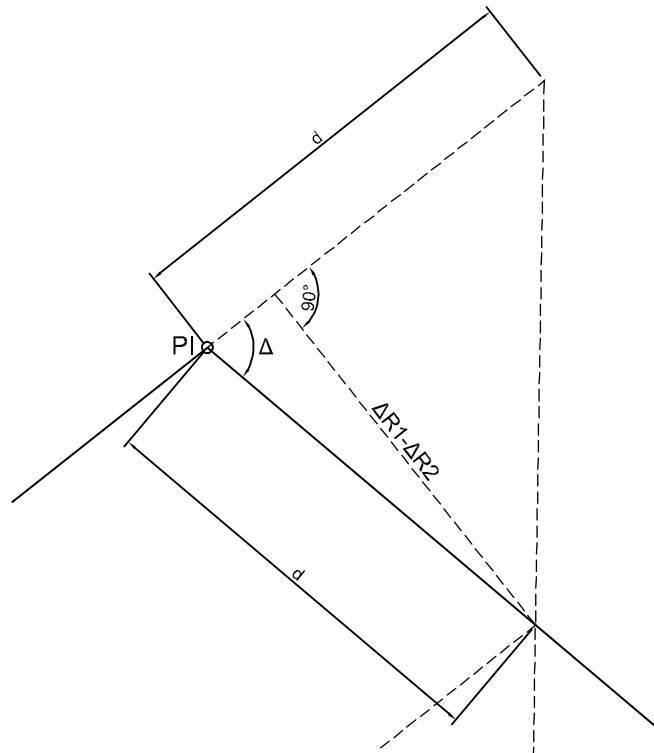


Figura 3.4c. – Elementos del empalme espiral – círculo – espiral (asimétrico)

- 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 del empalme circular:

$$Lc = \Delta c \times Rc ; \Delta c \text{ en radianes}$$

- Tangente del sistema de empalme (ver Figuras 3.4b y 3.4c):

$$Te1 = (Rc + \Delta R1) \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_{M1} - d ; \text{ para Le mayor, } \Delta \text{ en grados}$$

$$Te2 = (Rc + \Delta R2) \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_{M2} + d ; \text{ para Le menor, } \Delta \text{ en grados}$$

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

3.1.1.4. Empalme espiral - espiral

Corresponde al empalme de dos alineamientos rectos mediante dos ramas de espiral con un radio único en el centro, pero sin tramo circular ($\Delta_C = 0$ y $L_C = 0$). Puede ser un empalme espiralizado simétrico o asimétrico, es decir los parámetros de las espirales pueden ser iguales o diferentes. Para este caso los elementos del empalme espiralizado son los indicados en el numeral 3.1.1.3. Empalme espiral – círculo - espiral simétrica o asimétrica, pero teniendo en cuenta que se debe cumplir con lo siguiente:

- Para el empalme espiral – espiral simétrico:

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

- Para el empalme espiral – espiral asimétrico:

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

Este tipo de empalme está limitado a casos en que la deflexión total (Δ) no exceda de veinte grados (20°). Además, el ángulo θ_e de cada una de las espirales estará limitado a un valor máximo de diez grados (10°) y prefiriendo utilizar el empalme espiral – espiral simétrico al asimétrico.

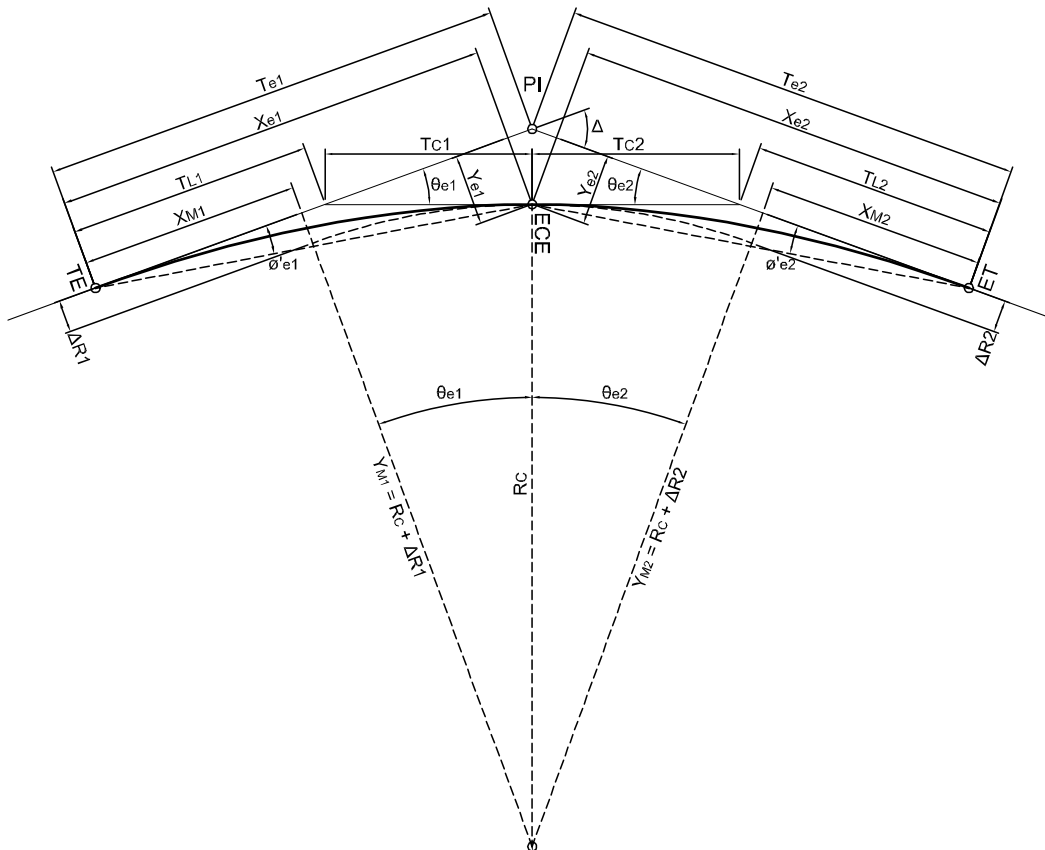


Figura 3.5. – Elementos del empalme espiral – espiral

3.1.1.5. Empalme en “S”. (Espiral – espiral inversa)

Corresponde al empalme de dos arcos circulares de sentido contrario, mediante dos arcos de transición simétricos de igual parámetro ($A_1 = A_2$) o arcos de transición asimétricos ($A_1 \neq A_2$) unidos por los lados de curvatura igual a cero (0), en un punto común llamado de inflexión; a este tipo de unión se le conoce como empalme en “S” (ver Figura 3.6.).

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

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

- Donde:
- D: Distancia mínima entre los arcos circulares que se empalman, en metros.
 - M: Distancia entre los centros de las circunferencias de radio R_1 y R_2 , en metros.
 - R_1 : Magnitud del radio mayor, en metros.
 - R_2 : Magnitud del radio menor, en metros

Elementos de las espirales para formar el empalme en “S” simétrico

- Radio de transición, en metros:

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

- Parámetro de transición, en metros:

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

- Longitud de las espirales para empalmes simétricos, en metros:

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

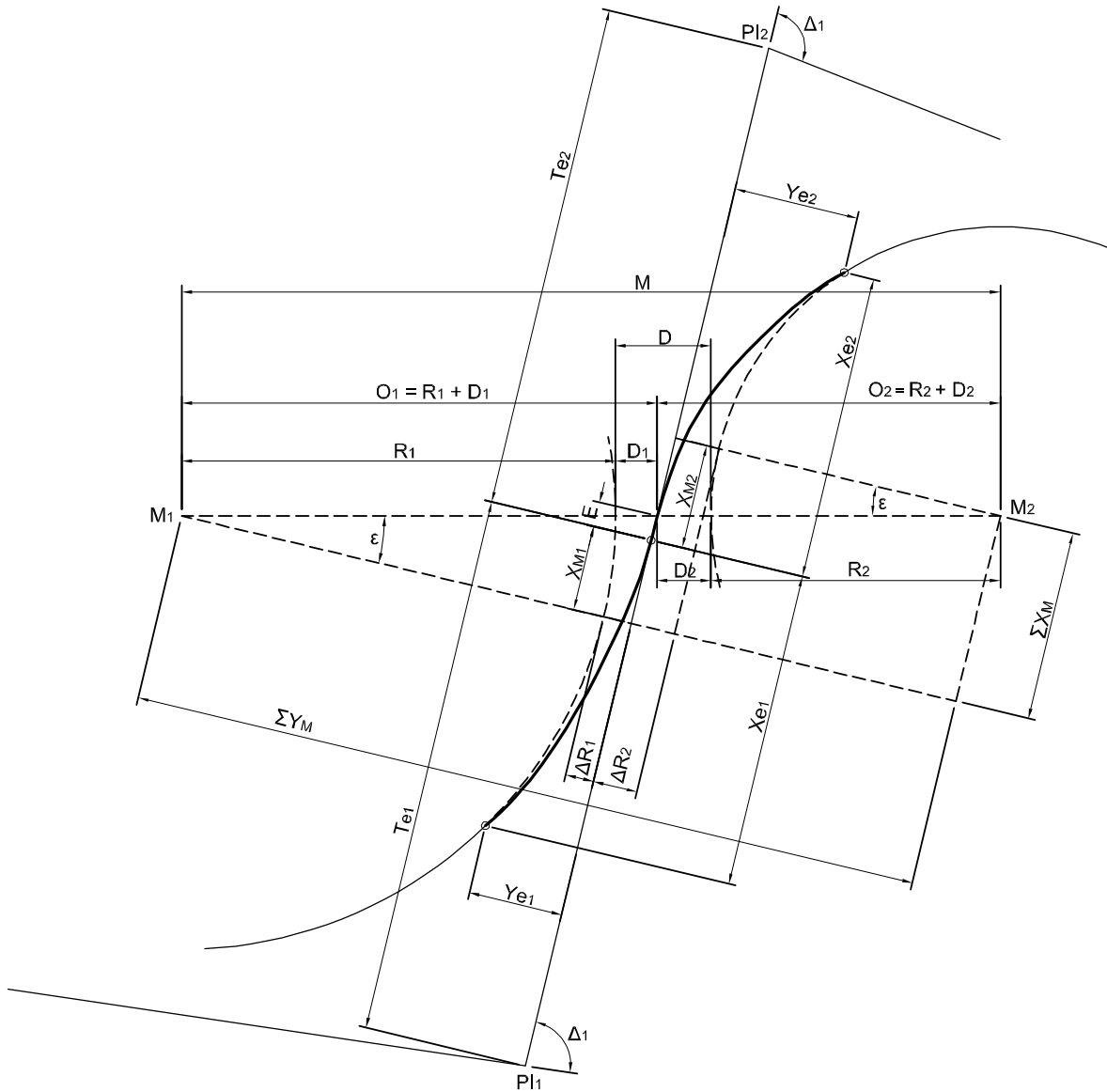


Figura 3.6. – Elementos del empalme en “S”

- Elementos de cada espiral que se calculan con las ecuaciones de la clotoide (numeral 3.1.1.2.) los cuales sirven para obtener el valor D mediante iteraciones al variar el valor de A_w :

$$\theta_{e1}, X_{e1}, Y_{e1}, \Delta R_1, X_{M1}, Y_{M1}; \text{ para la curva de } L_{e1}$$

$$\theta_{e2}, X_{e2}, Y_{e2}, \Delta R_2, X_{M2}, Y_{M2}; \text{ para la curva de } L_{e2}$$

- Para la construcción del empalme se calculan los siguientes valores:

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

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

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

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

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

$$\epsilon = \arctan \left(\frac{\Sigma X_M}{\Sigma Y_M} \right)$$

$$E = (R_1 + \Delta R_1) \times \tan \epsilon - X_{M1} ; \text{ o también } E = X_{M2} - (R_2 + \Delta R_2) \times \tan \epsilon$$

Al final de las iteraciones se calcula el valor D:

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

Elementos de las espirales para formar el empalme en “S” asimétrico

En este caso los parámetros de las espirales son diferentes y se debe cumplir que para $A_2 \leq 200$ se cumpla con la relación $A_1 \leq 1.2 A_2$, siendo A_2 el parámetro de la espiral con radio mayor y A_1 el parámetro de la espiral con radio menor.

3.1.1.6. Empalme en “C”. (Espiras que une dos círculos de igual sentido)

Corresponde al empalme de dos arcos circulares de igual sentido y radio diferente $R_1 \neq R_2$ unidos mediante un arco de transición de parámetro A_{ei} y longitud L_{ei} , la cual está formado teóricamente por dos ramas de espiral L_1 y L_2 que parten del mismo origen y se cumple que $L_{ei} = L_2 - L_1$.

Este tipo de empalme puede ser utilizado en sitios donde es necesario diseñar curvas regresivas o lupas especialmente en curvas ubicadas en los filos o en cañadas y laderas donde es indispensable alcanzar el sobrepaso de una cordillera.

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

$$D = R_1 - R_2 - M$$

Donde:	D:	Distancia mínima entre los arcos circulares que se empalman, en metros.
	M:	Distancia entre los centros de las circunferencias de radio R_1 y R_2 , en metros.
	R_1 :	Magnitud del radio mayor, en metros.
	R_2 :	Magnitud del radio menor, en metros.

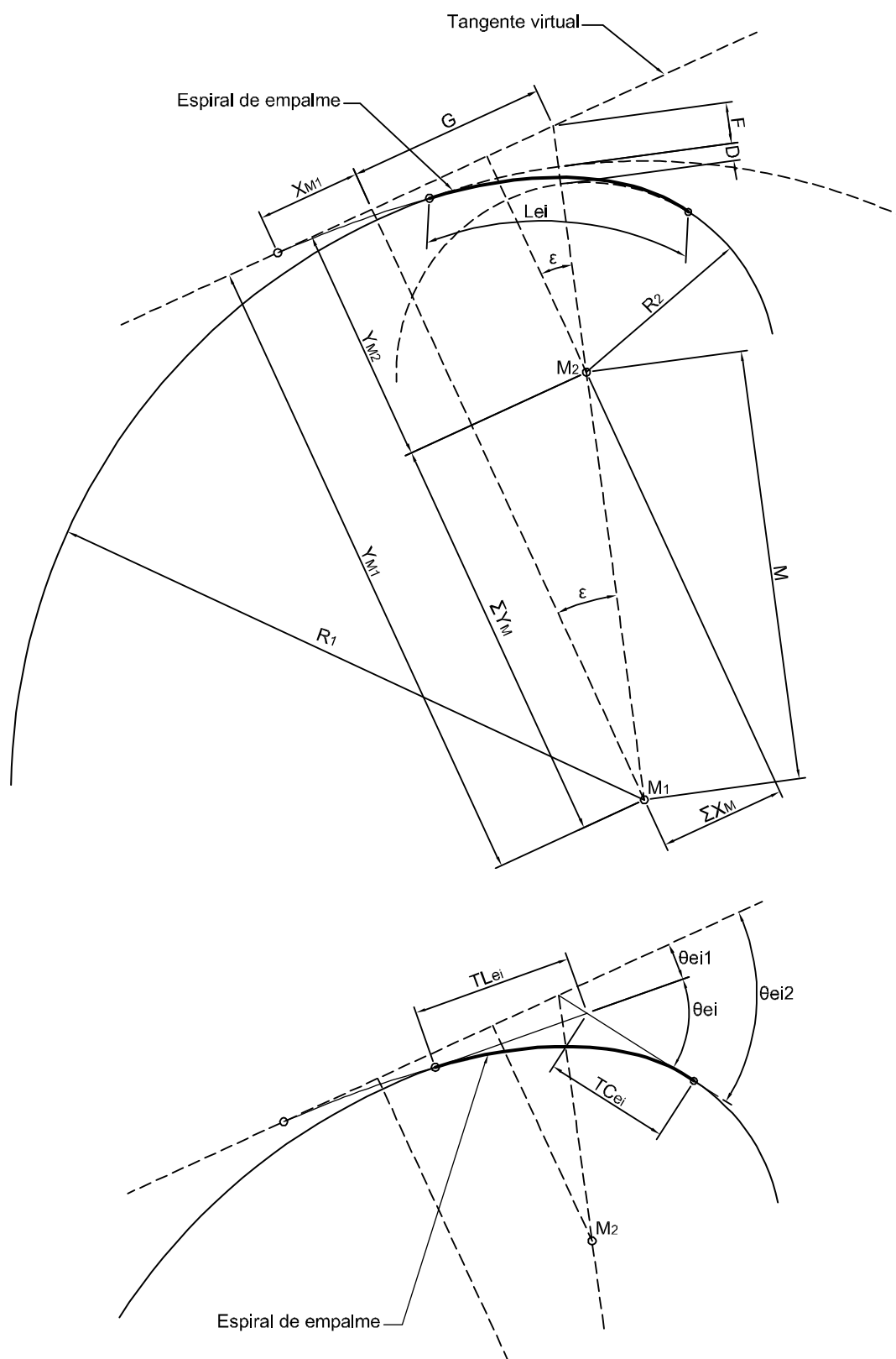


Figura 3.7. – Elementos del empalme en “C”

Elementos de las espirales para formar el empalme:

- Radio de transición, en metros:

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

- Parámetro de transición, en metros:

$$Aei = \sqrt[4]{24 \times D \times R^3} \text{ ; expresión aproximada}$$

- Longitud de las espirales, en metros:

$$Le1 = \frac{Aei}{R_1} \text{ ; } Le2 = \frac{Aei}{R_2}$$

- Elementos de cada espiral que se calculan con las ecuaciones de la espiral clotoide, los cuales sirven para obtener el valor D mediante iteraciones al variar el valor de Aei:

$$\theta_{e1}, X_{e1}, Y_{e1}, \Delta R_1, X_{M1}, Y_{M1}; \text{ para la curva de } Le_1$$

$$\theta_{e2}, X_{e2}, Y_{e2}, \Delta R_2, X_{M2}, Y_{M2}; \text{ para la curva de } Le_2$$

- Para la construcción del empalme se calculan los siguientes valores:

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

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

$$\Sigma Y_M = Y_{M1} - Y_{M2}$$

$$\Sigma X_M = X_{M1} - X_{M2}$$

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

$$\varepsilon = \arctan \left(\frac{\Sigma X_M}{\Sigma Y_M} \right)$$

Al final de las iteraciones después de hacer variaciones del parámetro Aei, se obtiene un valor $D = R_1 - R_2 - M$ que debe ser igual al valor D propuesto inicialmente. Con el valor Aei último o definitivo se obtienen los valores de Le1, Le2 y $Le_i = Le2 - Le1$, también definitivos.

La curva de empalme definitiva con parámetro Aei y longitud Lei tiene sus elementos propios que la definen:

- Angulo de deflexión o ángulo al centro de la espiral (θ_{ei}):

$$\theta_{ei} = \theta_{e1} - \theta_{e2}$$

- Longitud de la tangente larga (TL_{ei}):

$$TL_{ei} = \frac{(\text{sen } \theta_{e2}) \times (TL2 - TL1)}{\text{sen } \theta_{ei}} - TC1$$

- Longitud de la tangente corta (TC_{ei}):

$$TC_{ei} = TC2 - \frac{(\text{sen } \theta_{e1}) \times (TL2 - TL1)}{\text{sen } \theta_{ei}}$$

- Variables para complementar el dibujo de la curva con parámetro Aei:

$$F = \frac{Y_{M2}}{\cos \epsilon} - (R_2 + D)$$

$$G = Y_{M1} \times \tan \epsilon$$

3.1.2. Aplicación y combinación de los empalmes básicos

En los siguientes numerales se describen los datos de entrada, los elementos calculados y los resultados de salida de cada tipo de empalme, obtenidos mediante la aplicación CURVAS, desarrollada en la hoja electrónica “Excel”. Dicha aplicación se encuentra en la versión digital del presente Manual.

Los bloques en que está dividida la aplicación son:

1. Información de la curva.
2. Información para localización.
3. Elementos de la curva.

De igual manera se entrega la siguiente información, necesaria tanto en el proceso de diseño como durante la localización de cada curva:

- Listado de coordenadas planas cartesianas y coordenadas polares para los puntos principales y abscisado continuo de la curva.

- Listado con la información de los datos de salida para exportar al programa de computador “AutoCAD” y obtener un dibujo por coordenadas de la curva.

Es pertinente aclarar que todos los valores deben ser introducidos en las unidades descritas por la aplicación para cada caso particular con el fin de evitar resultados erróneos.

Para evitar inconsistencias en los dibujos de las curvas es necesario definir en el Panel de Control de Windows, dentro de la Configuración Regional y de Idioma el punto (.) como símbolo decimal, y la coma (,) como separador de listas. De igual manera, para lograr un adecuado funcionamiento de la aplicación, es necesario habilitar las macros en el programa Excel

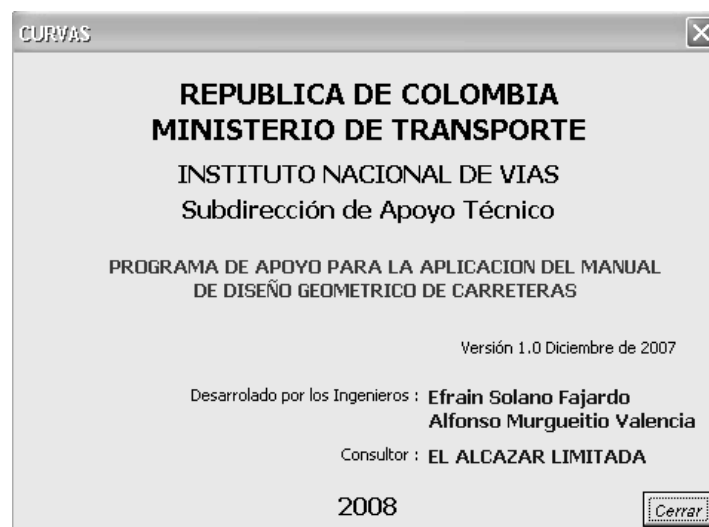


Figura 3.8. – Mensaje de inicio aplicación CURVAS

Información básica de la aplicación “Curvas”

Las curvas horizontales en general tienen como datos de entrada los siguientes parámetros:

- Abscisa inicial. Corresponde a la abscisa de un punto ubicado dentro de la tangente de entrada a la curva a partir del cual la aplicación calculará los restantes, dependiendo del incremento de abscisado definido por el usuario.
- Coordenadas punto inicial (N - E). Coordenadas Norte y Este del punto con la abscisa definida como inicial.
- Azimut de entrada (g,m,s). Azimut de la tangente de entrada a la curva. Se digita en grados, minutos y segundos, separado por una coma (,).

- Coordenadas punto final (N - E). Coordenada Norte y Este de un punto ubicado dentro de la tangente de salida de la curva.
- Azimut de salida (g,m,s). Azimut de la tangente de salida de la curva.
- Incremento en abscisado.

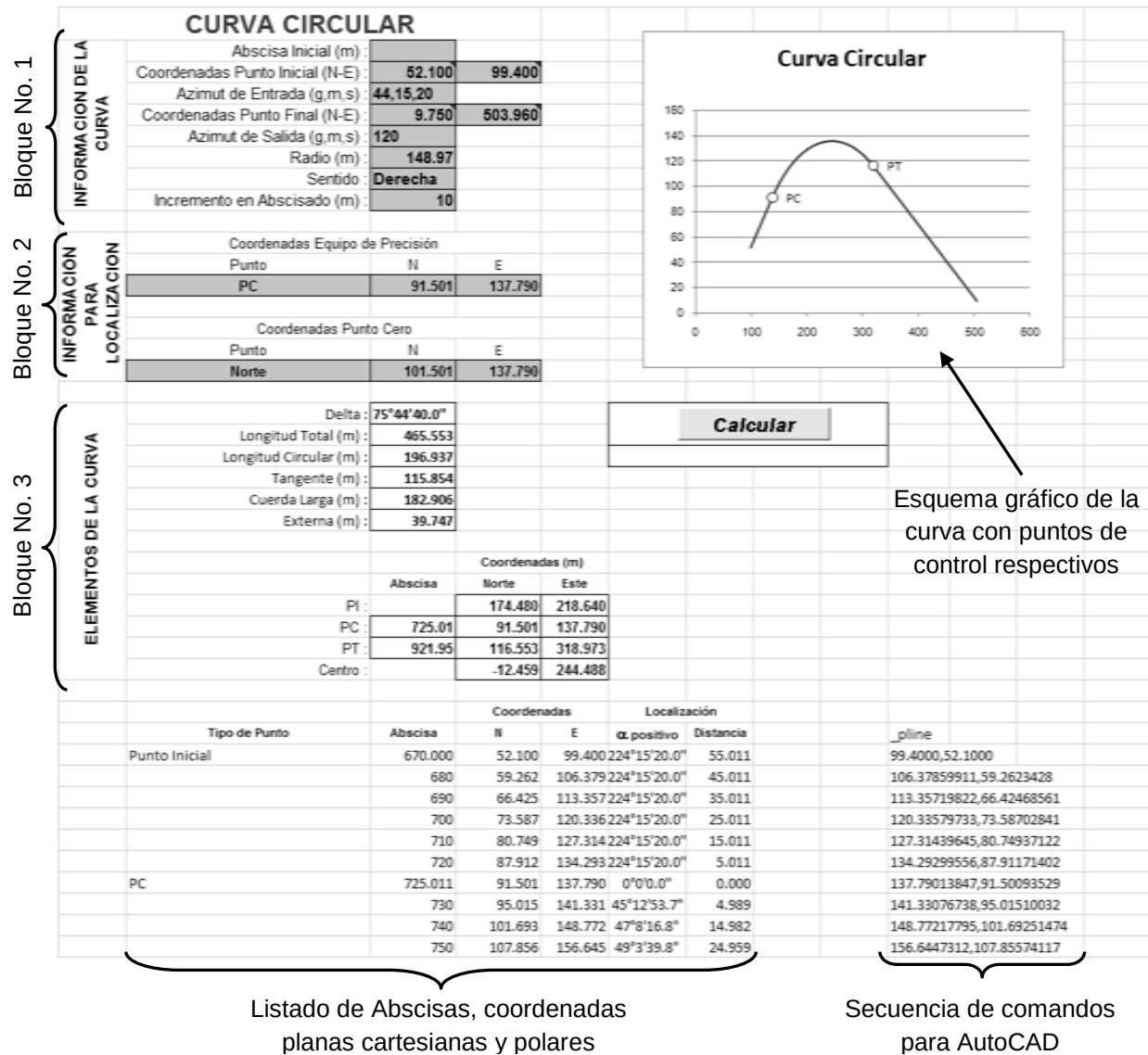


Figura 3.9. – Entorno general aplicación CURVAS

En la Figura 3.10 se presenta un esquema con la representación de los datos básicos de entrada al programa “Curvas”.

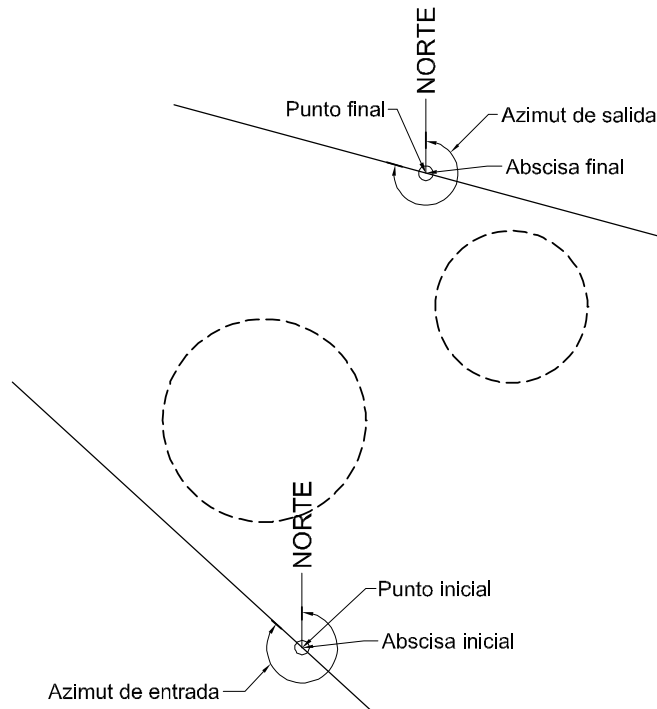


Figura 3.10. – Datos de entrada básicos para el cálculo de las curvas horizontales

Información para localización

Para todas las curvas horizontales se debe definir la siguiente información para localización:

- Coordenadas del equipo de precisión. Se debe definir la ubicación del equipo de precisión, la que podrá ser cualquiera de los puntos de control de cada curva tales como: PI, PC, PT, ET, TE, etc., o también cualquier punto coordenado (N, E) para lo cual se deberá seleccionar en la celda punto de ubicación “Otro”.
- Coordenada punto cero. Coordenadas del punto con el cual se direcciona el “Cero” del equipo de precisión. Se puede definir dar cero a cualquiera de los puntos de control de la curva, a la Norte, o a cualquier otro punto para lo cual se deberán dar sus coordenadas Norte y Este.

Representación gráfica de las curvas horizontales

La representación gráfica de las curvas se realiza mediante la siguiente secuencia de pasos:

- Cuando se calculan los elementos de la curva y las coordenadas de los puntos del eje de la curva con el botón “Calcular”, se almacena en memoria las coordenadas de dicha curva.

- En AutoCAD, en la línea de comandos “Command” se digitan simultáneamente las teclas “Ctrl+V”.
- El dibujo por coordenadas de la curva se despliega en pantalla.

3.1.2.1. Curvas horizontales constituidas por un único empalme básico

3.1.2.1.1. Curva Tipo 1. Circular simple

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Circular”.

Información de la curva

Además de los parámetros de entrada básicos, enunciados anteriormente, ésta curva requiere la siguiente información: Radio y sentido de la curva.

Elementos de la curva

En este bloque se despliegan los resultados de los siguientes elementos: Δ , longitud total (distancia entre el punto inicial y final), L_C , T, cuerda larga, E.

En este mismo bloque se despliega información relacionada con la abscisa y las coordenadas de los puntos PI, PC, PT y centro de la curva.

Lista de coordenadas del eje de la curva

Aparece el listado de coordenadas planas cartesianas y polares del eje de la curva, el cual se presenta en forma de tabla con las siguientes columnas:

- Tipo de punto. Punto Inicial, PC, PT, punto final.
- Abscisa del punto.
- Coordenada Norte (N).
- Coordenada Este (E).
- Angulo positivo (α positivo). Ángulo medido desde la línea de referencia hasta el punto o abscisa del eje de la curva. En el caso en que la línea de referencia corresponda a la Norte, este ángulo corresponderá al azimut.
- Distancia. Longitud calculada desde el punto de estación del equipo al punto a localizar de la curva.

En la Figura 3.11 se ilustra el esquema básico de la curva.

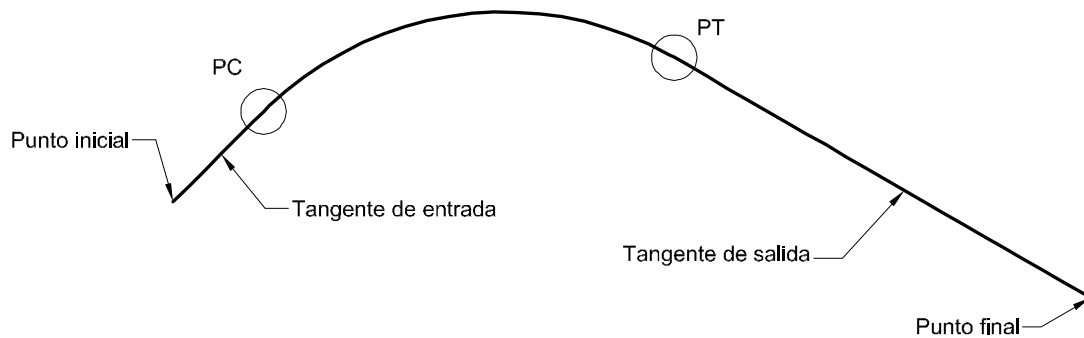


Figura 3.11. – Salida gráfica de la curva Tipo 1. Circular simple

3.1.2.1.2. Curva Tipo 2. Espiral – círculo – espiral

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Espiral – Círculo - Espiral”. La aplicación requiere para este caso particular que en la celda denominada como “Tipo de Espiral” se seleccione la opción: Espiral – Círculo – Espiral.

Información de la curva

La información particular que requiere este tipo de curva es:

- Para el tramo circular central: Radio (R_C).
- Para cada una de las espirales (entrada y salida): Parámetro (A) o su longitud (L_e). Dependiendo de los valores ingresados para cada una dependerá si son simétricas o asimétricas
- Sentido de la curva.

Elementos de la curva

Los elementos que despliega la aplicación para esta curva son:

- Valores únicos para la curva: Δ , longitud total (distancia entre el punto inicial y final), Δ_C , L_C .
- Para cada espiral: L_e , Parámetro (A), θ_e , X_e , Y_e , X_M , ΔR , T_e .

En este mismo bloque se despliega información relacionada con la abscisa y las coordenadas N y E de los puntos PI, TE, EC, CE, ET y centro de la curva.

Lista de coordenadas del eje de la curva

Aparece el listado de coordenadas planas cartesianas y polares del eje de la curva, el cual se presenta en forma de tabla con las siguientes columnas:

- Tipo de punto. Punto inicial, TE, EC, CE, ET y punto final.
- Abscisa del punto.
- Coordenada Norte (N).
- Coordenada Este (E).
- Angulo positivo (α positivo). Ángulo medido desde la línea de referencia hasta el punto o abscisa del eje de la curva. En el caso en que la línea de referencia corresponda a la Norte, este ángulo corresponderá al azimut.
- Distancia. Longitud calculada desde el punto de estación del equipo al punto a localizar de la curva.

En la Figura 3.12 se indica el esquema básico de la curva.

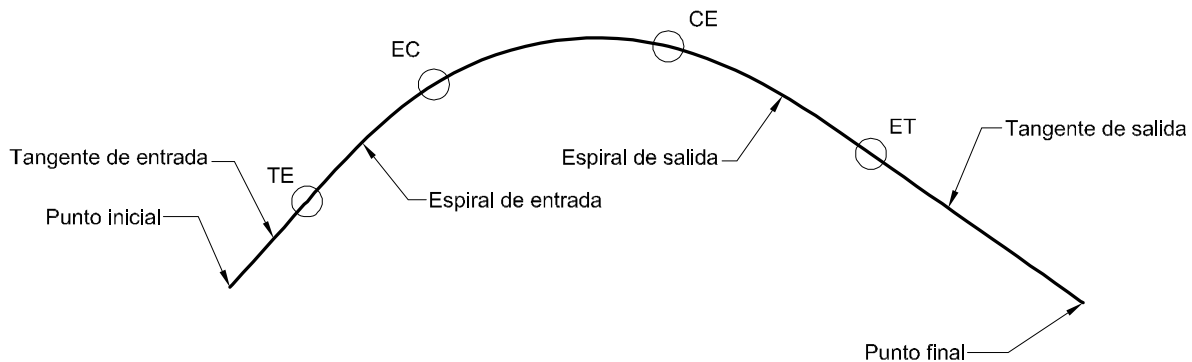


Figura 3.12. – Salida gráfica de la curva Tipo 2. Espiral – circular - espiral

3.1.2.1.3. Curva Tipo 3. Espiral – espiral

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Espiral – Círculo - Espiral”. La aplicación requiere para este caso particular que en la celda denominada como “Tipo de Espiral” se seleccione la opción: Espiral – Espiral.

Información de la curva

La información particular que requiere este tipo de curva es:

- Para la definición del punto Espiral – Espiral: Radio circular (R_C).
- Para las espirales (entrada y salida) se pueden presentar los siguientes casos: En caso de dejar estas celdas en blanco, la aplicación las considerará como simétricas. Si por el contrario se desean espirales asimétricas, será necesario ingresar el valor del Parámetro o de la Longitud sólo para una de ellas.

- Sentido de la curva.

Elementos de la curva

Los elementos para este tipo de curva son los mismos que para la curva Tipo 2, con la particularidad que para esta los valores L_C y Δ_C serán iguales a cero (0).

Lista de coordenadas del eje de la curva

La diferencia en el listado de información para la localización de esta curva con el caso de la curva Tipo 2 es, que tanto las abscisas como las coordenadas de los puntos EC y CE serán las mismas.

En la Figura 3.13 se ilustra el esquema básico de la curva.

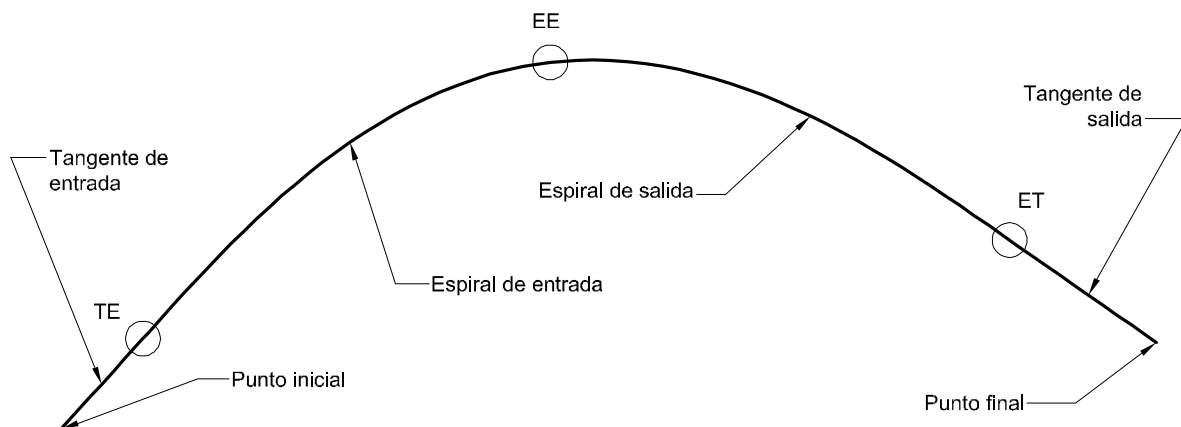


Figura 3.13. – Salida gráfica de la curva Tipo 3. Espiral – espiral

3.1.2.2. Curvas horizontales constituidas por la combinación de varios empalmes básicos

3.1.2.2.1. Curva Tipo 4. Curva en “S”

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Curva en S”.

Información de la curva

Además de la información general requerida para todos los tipos de curvas, la construcción de esta curva requiere la siguiente información adicional:

- Para cada uno de los círculos que dan origen a la curva: Radio (Radios círculos #1 y #2), coordenadas de los centros de cada círculo (centros círculos #1 y #2).

- Para cada una de las espirales (entrada y salida). Parámetro (A) o su longitud (Le).

Elementos de la curva

Los elementos que despliega la aplicación de esta curva son:

- Valores únicos para la curva: Δ , longitud total (distancia entre el punto inicial y final).
- Para cada arco circular: Δ_C , L_C .
- Para cada una de las cuatro (4) espirales: Le, Parámetro (A), θ_e , X_e , Y_e , X_M , ΔR , T_e .
- Para la trayectoria en “S”: Ángulo épsilon (ϵ).

En este mismo bloque se despliega información relacionada con las abscisas y las Coordenadas N y E de los puntos: PI, TE, EC1, CE1, EE, EC2, CE2 y ET.

En este tipo de curvas, el punto denominado como PI corresponde a la intersección de las tangentes de entrada y salida, cuyas coordenadas y valores de azimuth fueron ingresados en el bloque de “Información de la Curva”.

Lista de coordenadas del eje de la curva

En la parte final de la aplicación, aparece el listado de coordenadas planas cartesianas y polares del eje de la curva, el cual se presenta en forma de tabla con las siguientes columnas:

- Tipo de punto. Punto inicial, TE, EC1, CE1, EE, EC2, CE2, ET y punto final.
- Abscisa del punto.
- Coordenada Norte (N).
- Coordenada Este (E).
- Angulo positivo (α positivo). Ángulo medido desde la línea de referencia hasta el punto o abscisa del eje de la curva. En el caso en que la línea de referencia corresponda a la Norte, este ángulo corresponderá al azimuth.
- Distancia. Longitud calculada desde el punto de estación del equipo al punto a localizar de la curva.

En la Figura 3.14 se indica el esquema básico de la curva.

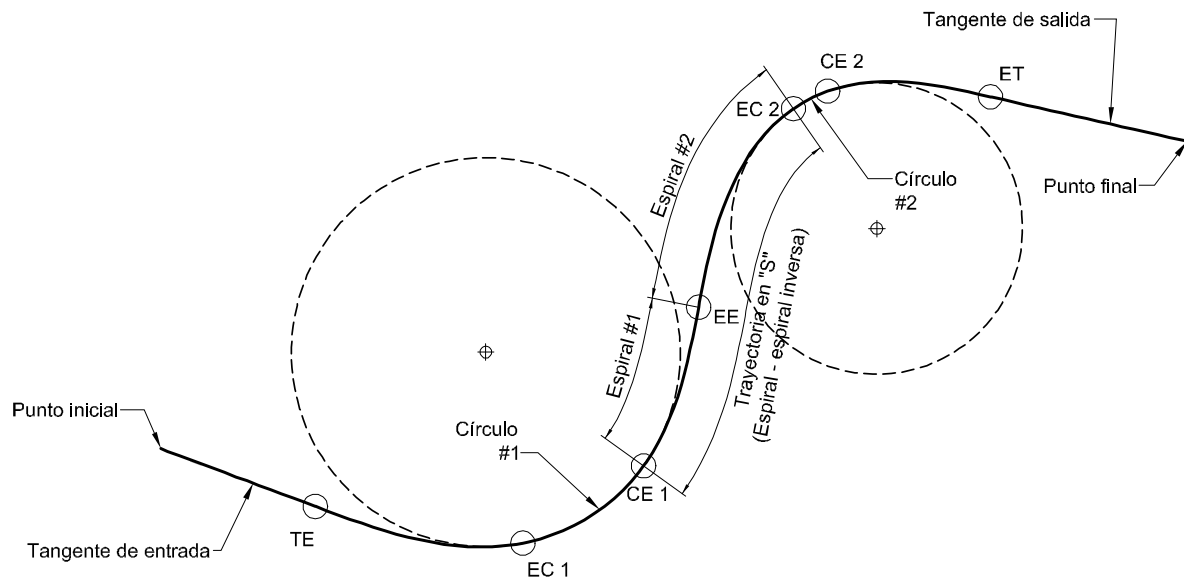


Figura 3.14. – Salida gráfica de la curva Tipo 4. Curva en “S”

3.1.2.2.2. Curva Tipo 5. Curva en “C”

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Curva en C”.

Información de la curva

Además de la abscisa del punto inicial y final, así como del azimuth de entrada y salida, esta curva requiere la siguiente información de entrada:

- Para cada uno de los círculos que dan origen a la curva: Radio (Radios círculos #1 y #2), coordenadas de los centros de cada círculo (centros círculos #1 y #2).

Elementos de la curva

Los elementos que despliega la aplicación para esta curva son:

- Valores únicos para la curva: Δ , longitud total (distancia entre el punto inicial y final).
- Para cada arco circular: Δ_C , L_C .
- Para cada una de las tres (3) espirales: L_e , Parámetro (A), θ_e , X_e , Y_e , X_M , ΔR , T_e .

- Para la trayectoria en “C”: Ángulo épsilon (ϵ).

En este mismo bloque se despliega información relacionada con la abscisas y las coordenadas N y E de los puntos: PI, TE, EC1, CE1, EC2, CE2 y ET.

En este tipo de curvas, el punto denominado como PI corresponde a la intersección de las tangentes de entrada y salida, cuyas coordenadas y valores de azimut fueron ingresados en el bloque de “Información de la Curva”.

Lista de coordenadas del eje de la curva

En la parte final de la aplicación, aparece el listado de coordenadas planas cartesianas y polares del eje de la curva, el cual se presenta en forma de tabla con las siguientes columnas:

- Tipo de punto. Punto inicial, TE, EC1, CE1, EC2, CE2, ET y punto final.
- Abscisa del punto.
- Coordenada Norte (N).
- Coordenada Este (E).
- Ángulo positivo (α positivo). Ángulo medido desde la línea de referencia hasta el punto o abscisa del eje de la curva. En el caso en que la línea de referencia corresponda a la Norte, este ángulo corresponderá al azimut.
- Distancia. Longitud calculada desde el punto de estación del equipo al punto a localizar de la curva.

En la Figura 3.15 se indica el esquema básico de la curva.

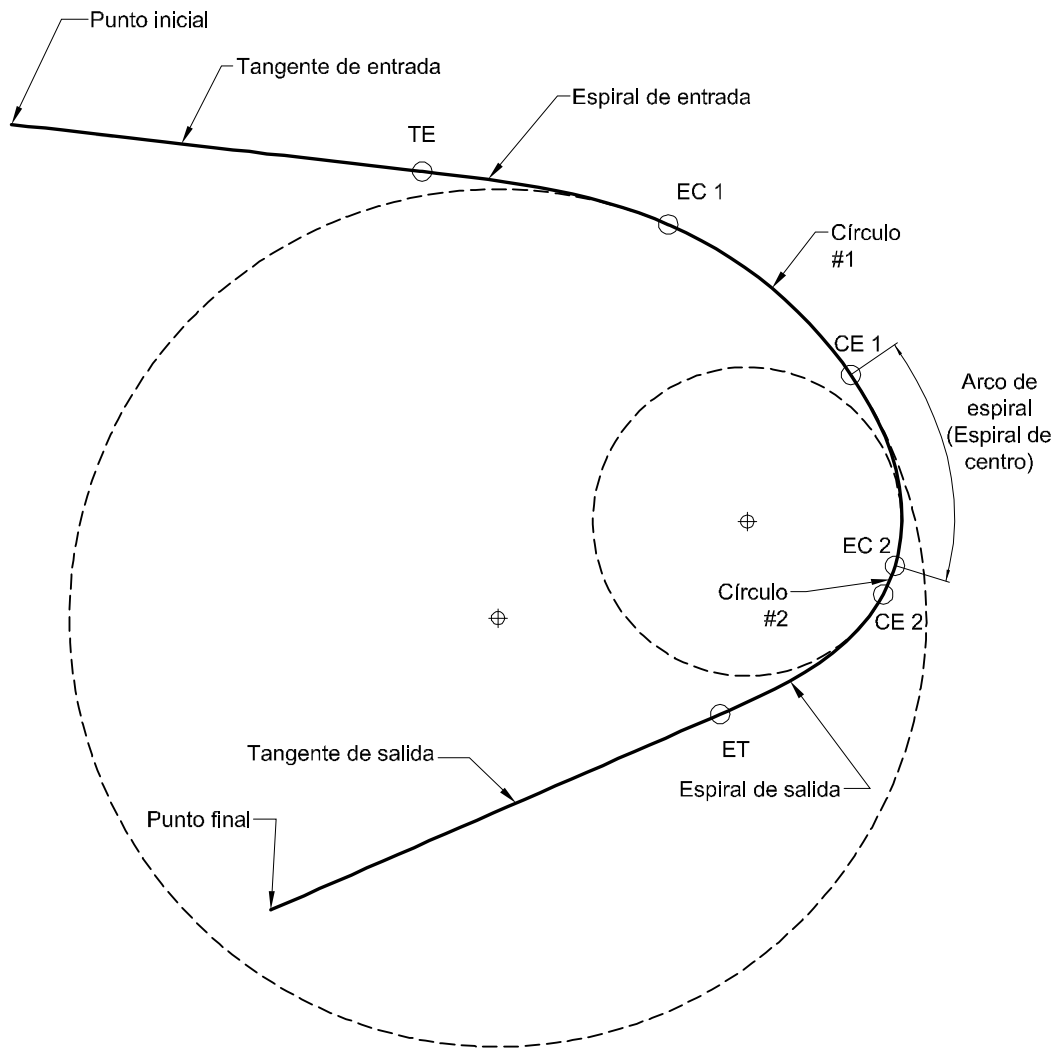


Figura 3.15. – Salida gráfica de la curva Tipo 5. Curva en “C”

3.1.2.2.3. Curva Tipo 6. Curva en “Doble C”

La metodología de cálculo para esta curva se encuentra en la pestaña de la aplicación denominada como “Curva en Doble C”.

Información de la curva

Además de la abscisa del punto inicial y final, así como del azimuth de entrada y salida, esta curva requiere la siguiente información de entrada:

- Para cada uno de los círculos que dan origen a la curva: Radio (Radios círculos #1, #2 y #3), coordenadas de los centros de cada círculo (centros círculos #1 , #2 y #3).

Elementos de la curva

Los elementos que despliega la aplicación de esta curva son:

- Valores únicos para el empalme: Δ , longitud total (distancia entre el punto inicial y final).
- Para cada arco circular: Δ_C , L_C .
- Para cada una de las cuatro (4) espirales: L_e , Parámetro (A), θ_e , X_e , Y_e , X_M , ΔR .
- Para las dos (2) curvas en “C”: Ángulos épsilon (ϵ).

En este mismo bloque se despliega información relacionada con la Abscisa y las Coordenadas N y E de los puntos: PI; TE; EC1; CE1; EC2; CE2; EC3; CE3; ET.

En este tipo de curvas, el punto denominado como PI corresponde a la intersección de las tangentes de entrada y salida, cuyas coordenadas y valores de azimut fueron ingresados en el bloque de “Información de la Curva”.

Lista de coordenadas del eje de la curva

En la parte final de la aplicación, aparece el listado de coordenadas planas cartesianas y polares del eje de la curva, el cual se presenta en forma de tabla con las siguientes columnas:

- Tipo de punto. Punto Inicial, TE, EC1, CE1, EC2, CE2, EC3, CE3, ET y punto final.
- Abscisa del punto.
- Coordenada Norte (N).
- Coordenada Este (E).
- Ángulo positivo (α positivo). Ángulo medido desde la línea de referencia hasta el punto o abscisa del eje de la curva. En el caso en que la línea de referencia corresponda a la Norte, este ángulo corresponderá al azimut.
- Distancia. Longitud calculada desde el punto de estación del equipo al punto a localizar de la curva.

En la Figura 3.16 se indica el esquema básico de la curva.

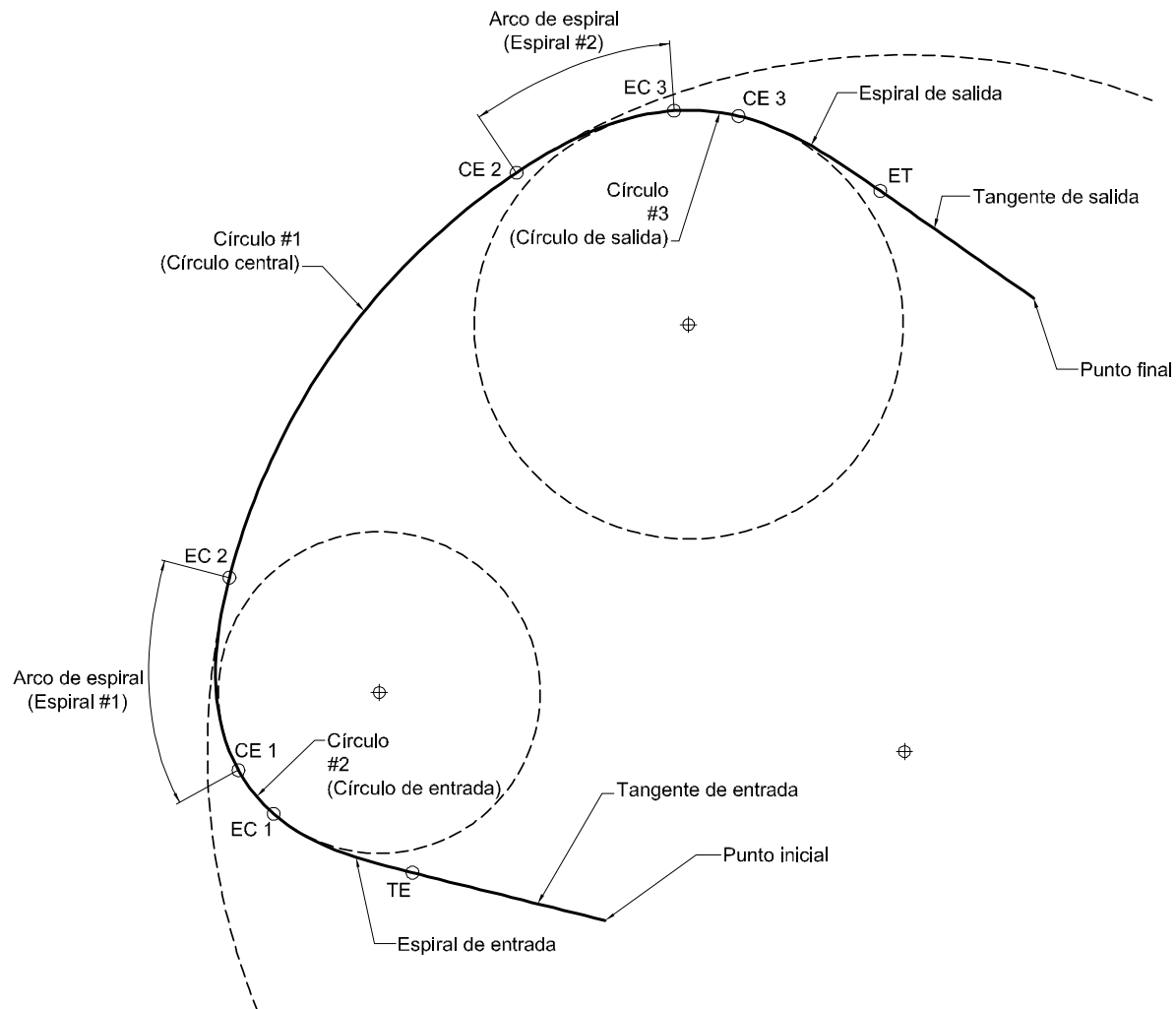


Figura 3.16. – Salida gráfica de la curva Tipo 6. Curva en “doble C”

3.1.3. Relación entre la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}), el Radio de curvatura (R_C) y el Peralte (e)

Cuando un vehículo circula por una curva horizontal a una velocidad dada, el diseño de la vía en dicha curva debe garantizar al conductor un recorrido seguro y confortable. Para lograr este objetivo es necesario recurrir a las leyes de la física mediante la ecuación de equilibrio que a continuación se expone.

3.1.3.1. Ecuación de equilibrio

Esta ecuación permite definir la relación entre el radio (R_C) de la curva horizontal, la Velocidad Específica (V_{CH}), el peralte (e) y la fricción transversal (f_T), con la cual se tiene el equilibrio de las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva. La ecuación de la curva es la siguiente:

$$R_C = \frac{V_{CH}^2}{127 \times (e + f_T)}$$

Donde: R_C : Radio de la curva circular, en metros.

V_{CH} : Velocidad Específica para la que se diseña la curva, en km/h.

e : Peralte de la calzada en la curva, en tanto por uno.

f_T : Coeficiente de fricción transversal.

3.1.3.2. Peralte máximo ($e_{m\acute{a}x}$)

3.1.3.2.1. Para carreteras Primarias y Secundarias

Para estos tipos de vías establece como peralte máximo ocho por ciento (8%), el cual permite no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores, especialmente a los vehículos con centro de gravedad muy alto y a los vehículos articulados (tracto – camión con remolque) los cuales pueden tener un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con peraltes muy altos.

3.1.3.2.2. Para carreteras Terciarias

En carreteras Terciarias, especialmente en terreno montañoso y escarpado, es difícil disponer de longitudes de entretangencia amplias, por lo que no es fácil hacer la transición de peralte. Por lo anterior se considera que el peralte máximo más adecuado para este caso es de seis por ciento (6%).

3.1.3.3. Fricción transversal máxima ($f_{Tm\acute{a}x}$)

Está determinada por numerosos factores, entre los cuales: el estado de la superficie de rodadura, la velocidad del vehículo y el tipo y condiciones de las llantas de los vehículos. Se adoptan los valores del coeficiente de fricción transversal máxima indicados por los estudios recientes de la AASHTO, los cuales se indican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.
Coeficiente de fricción transversal máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA $f_{Tm\acute{a}x}$	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

3.1.3.4. Radio de curvatura mínimo ($R_{Cmín}$)

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

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

En las Tablas 3.2 y 3.3 se indican los valores de Radio mínimo para diferentes Velocidades Específicas (V_{CH}) según el peralte máximo ($e_{máx}$) y la fricción máxima ($f_{Tmáx}$).

Tabla 3.2.

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

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

Tabla 3.3.
Radios mínimos para peralte máximo $e_{\text{máx}} = 6 \%$ y fricción máxima

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

⁽¹⁾ La adopción de este valor redondeado se sustenta básicamente en la necesidad de suministrar a los vehículos condiciones de desplazamiento cómodas, en aras de permitir giros sin requerir cambios muy fuertes en su velocidad.

3.1.3.5. Valor del Peralte (e) en función de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y el Radio de curvatura adoptado (R_{C})

A cada una de las curvas horizontales se le asigna su Velocidad Específica atendiendo a los criterios consignados en el Capítulo 2 del presente Manual y en el numeral 3.5. Relación entre los Radios de curvas horizontales contiguas.

Una vez asignada la Velocidad Específica (V_{CH}) a cada curva horizontal y con el Radio de curvatura elegido (R_{C}), que se supone es el que permite ajustar de la mejor manera la trayectoria de la curva a la topografía del terreno, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su Radio (R_{C}) permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la Velocidad Específica (V_{CH}). Para ello, en el presente Manual se ha adoptado el criterio de la AASHTO denominado Método 5, incluido en su versión 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.

Lo anterior implica que para curvas de Radios superiores al mínimo, la fricción transversal demandada no es la fricción transversal máxima ($f_{\text{Tmáx}}$) sino que su valor es establecido en el Método 5 mediante una función parabólica.

En la Tabla 3.4 se presenta el valor del peralte en función de la V_{CH} y el R_{C} para carreteras Primarias y Secundarias ($e_{\text{máx}} = 8\%$) y en la Figura 3.5 para carreteras Terciarias.

3.1.3.5.1. Carreteras Primarias y Secundarias

Tabla 3.4.
Radios (R_C) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{\max} = 8\%$.

e (%)	$V_{CH} = 40$ km/h R (m)	$V_{CH} = 50$ km/h R (m)	$V_{CH} = 60$ km/h R (m)	$V_{CH} = 70$ km/h R (m)	$V_{CH} = 80$ km/h R (m)	$V_{CH} = 90$ km/h R (m)	$V_{CH} = 100$ km/h R (m)	$V_{CH} = 110$ km/h R (m)	$V_{CH} = 120$ km/h R (m)	$V_{CH} = 130$ km/h R (m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2,0	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	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	458	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	296	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

3.1.3.5.2. Carreteras Terciarias

Tabla 3.5.
Radios (R_c) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{\text{máx}} = 6\%$.

e (%)	$V_{CH} = 20 \text{ km/h}$ R (m)	$V_{CH} = 30 \text{ km/h}$ R (m)	$V_{CH} = 40 \text{ km/h}$ R (m)	$V_{CH} = 50 \text{ km/h}$ R (m)	$V_{CH} = 60 \text{ km/h}$ R (m)
1.5	194	421	738	1050	1440
2.0	138	299	525	750	1030
2.2	122	265	465	668	919
2.4	109	236	415	599	825
2.6	97	212	372	540	746
2.8	87	190	334	488	676
3.0	78	170	300	443	615
3.2	70	152	269	402	561
3.4	61	133	239	364	511
3.6	51	113	206	329	465
3.8	42	96	177	294	422
4.0	36	82	155	261	380
4.2	31	72	136	234	343
4.4	27	63	121	210	311
4.6	24	56	108	190	283
4.8	21	50	97	172	258
5.0	19	45	88	156	235
5.2	17	40	79	142	214
5.4	15	36	71	128	195
5.6	15	32	63	115	176
5.8	15	28	56	102	156
6.0	15	21	43	79	123

3.2. TRANSICIÓN DEL PERALTE

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

$$L_t = L + N$$

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

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

3.2.1. Rampa de peralte

Se define la rampa de peralte como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma, y se determina por:

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

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

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

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

La Tabla 3.6 presenta los valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peraltes. La pendiente mínima, está determinada, para cualquier velocidad de diseño como la décima parte de la distancia entre el eje de giro y el borde de la calzada, Figura 3.17.

Se adoptan valores sugeridos por la AASHTO – 2004 para la pendiente relativa de la rampa de peraltes para velocidades comprendidas entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 - 120 km/h). Para las velocidades entre veinte a cincuenta kilómetros por hora (20 - 50 km/h) se adoptan valores ajustados a las necesidades de las carreteras Secundarias y Terciarias donde el espacio para realizar la transición de peraltado es muy limitado.

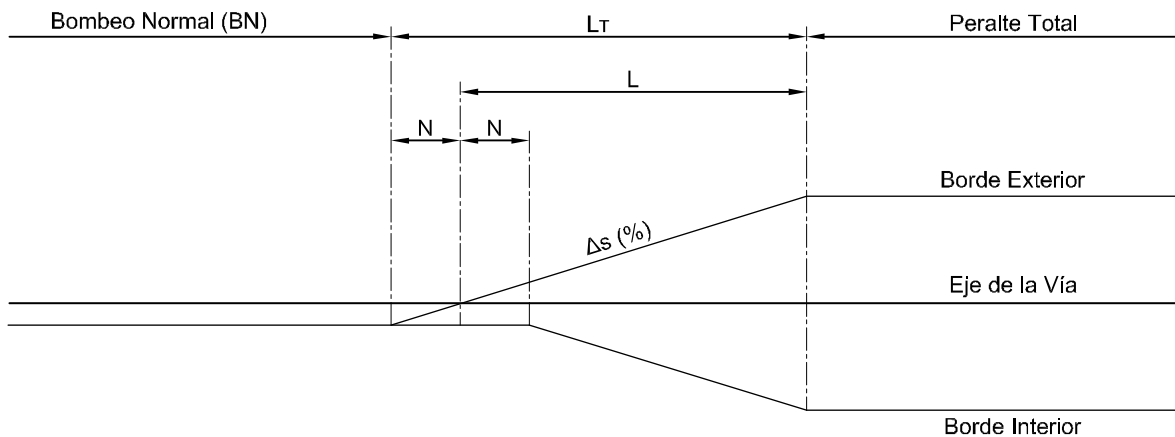


Figura 3.17 - Desarrollo del peralte

Tabla 3.6.

Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1 x a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

3.2.2. Longitud de transición

La longitud de la transición (L) se calcula de acuerdo con la relación indicada en el numeral 3.2.1. Rampa de peralte de donde se puede obtener el valor de la longitud de transición (L) en función de la inclinación relativa de la rampa de peraltes (Δs), del ancho de la calzada que gira (a) y los cambios de peralte (e_f, e_i), variables ya definidas, por lo tanto la expresión de cálculo es:

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

También

$$a = w \times n$$

Donde L: Longitud de transición, en metros.

e_f - e_i: Cambio de peralte, en porcentaje (%).

a: Ancho de la calzada que gira, en metros.

b_w: Factor de ajuste debido al número de carriles que giran.

Δs: Inclinación relativa de la rampa de peraltes.

W: Ancho del carril, en metros.

n: Número de carriles que giran.

El valor de Δs se obtiene de la Tabla 3.6, los demás valores que hacen parte de la expresión anterior se definen al seleccionar los peraltes y el ancho de la sección transversal en la curva.

El valor del ancho de calzada que gira (a) es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno (1) es conveniente el uso de un factor de ajuste (b_w) para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la Tabla 3.6a se indican los factores de ajuste (AASHTO - 2004) y en la Figura 3.18 los bosquejos que indican los carriles que giran respecto a su eje de giro.

Tabla 3.6a.
Factor de ajuste para el número de carriles girados

NÚMERO DE CARRILES QUE GIRAN (n)	FACTOR DE AJUSTE (b_w)	INCREMENTO EN LOS CARRILES DE GIRO RESPECTO A UN CARRIL GIRADO
1.0	1.00	1.00
1.5	0.83	1.25
2.0	0.75	1.50
2.5	0.70	1.75
3.0	0.67	2.00
3.5	0.64	2.25

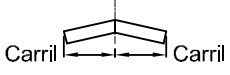
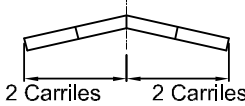
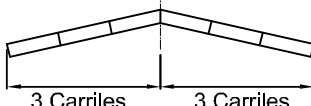
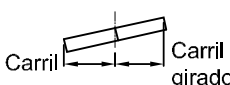
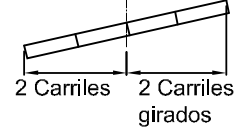
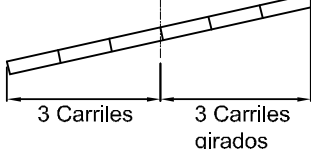
Rotación de un (1) carril	Rotación de dos (2) carriles	Rotación de tres (3) carriles
 Sección en Bombeo	 Sección en Bombeo	 Sección en Bombeo
 Sección girada	 Sección girada	 Sección girada

Figura 3.18. - Disposición de los carriles que giran respecto a su eje de rotación

3.2.2.1. En curvas circulares

En curvas circulares sin espirales se pueden presentar dos posibilidades:

- 1) Cuando hay suficiente entretangencia, la transición de peralte se debe desarrollar en la tangente.
- 2) Cuando no hay suficiente espacio en las tangentes entre curvas, se debe realizar la transición una parte en la tangente y el resto dentro de la curva. Para el segundo caso, el peralte en el PC y/o en el PT debe estar entre sesenta y ochenta por ciento (60% - 80%) del peralte total, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con peralte total. Ver Figura 3.19.

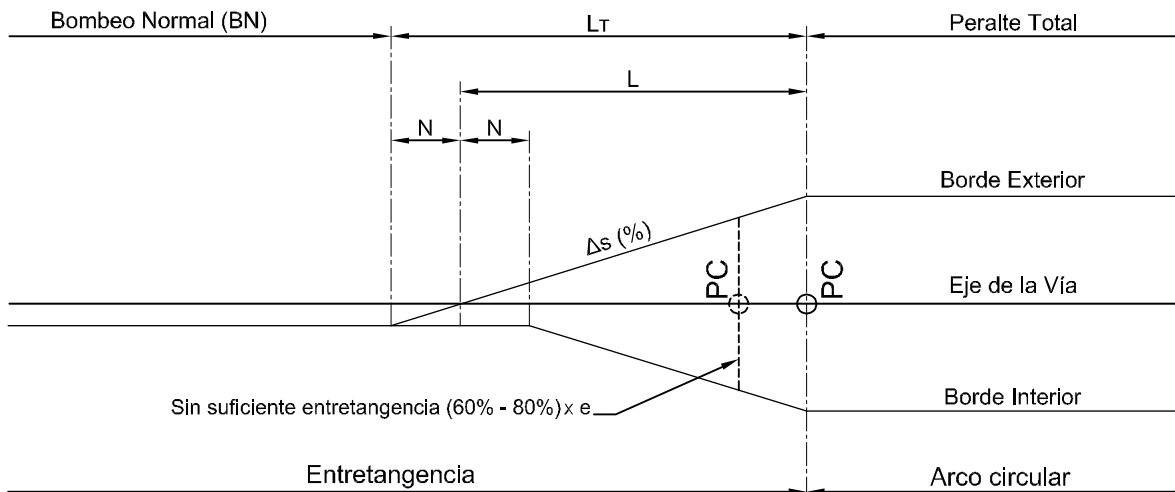


Figura 3.19. - Diagrama de transición de peraltes para curvas circulares

3.2.2.2. En curvas con espiral de transición

Para terrenos ondulado, montañoso y escarpado la transición de peralte corresponde a la longitud de la espiral ($L_e = L$) más la distancia de aplanamiento (N). Para terrenos planos con uso de espirales cuyo radio y longitud sea alto, la longitud de la espiral puede incluir las dos longitudes de la transición total ($L_e = L + N$), ver Figura 3.20.

En los proyectos de carretera, se debe tener especial cuidado con el drenaje longitudinal y transversal de la superficie del pavimento, la cual es girada normalmente con respecto al eje central de la vía. Al efectuar la rotación de los bordes de pavimento, se pueden presentar sectores con superficie plana, que puedan llegar a afectar las condiciones dinámicas de los vehículos, originado por falta de drenaje, lo que se puede convertir en factor de accidentalidad.

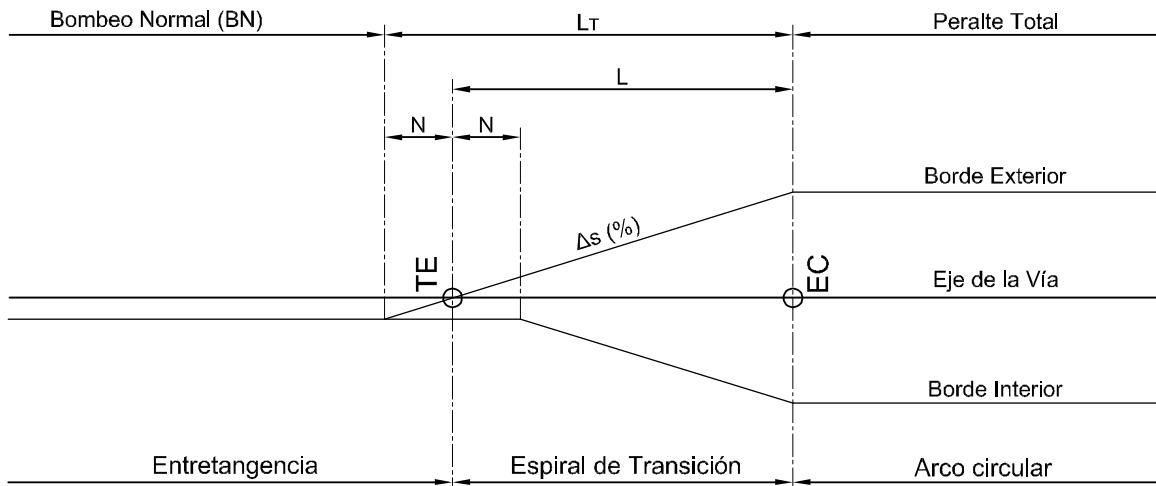


Figura 3.20. - Diagrama de transición de peraltes para curvas con espirales de transición

En terrenos especialmente planos, en los cuales la pendiente longitudinal del eje de la vía sea menor que uno por ciento (1%) y largas longitudes de espiral proyectadas, se deben controlar de forma especial las condiciones mínimas aceptadas para la pendiente de la rampa de peraltes. En caso de ser inferior se debe levantar la rampa hasta el mínimo admisible y ajustar con buen criterio la pendiente de la rampa de peraltes hasta lograr el peralte máximo.

3.2.3. Métodos para realizar la transición del peralte

3.2.3.1. Rotación de la calzada respecto al eje de la carretera

Girando el pavimento de la calzada alrededor de su línea central. Este es el método más empleado en el diseño de carreteras, porque permite un desarrollo más armónico y genera menor distorsión de los bordes de la corona. Ver Figura 3.21a.

3.2.3.2. Rotación de la calzada respecto a uno de sus bordes

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

- Rotación de la calzada respecto a su borde interior. Ver Figura 3.21b.
- Rotación de la calzada respecto a su borde exterior. Ver Figura 3.21c.

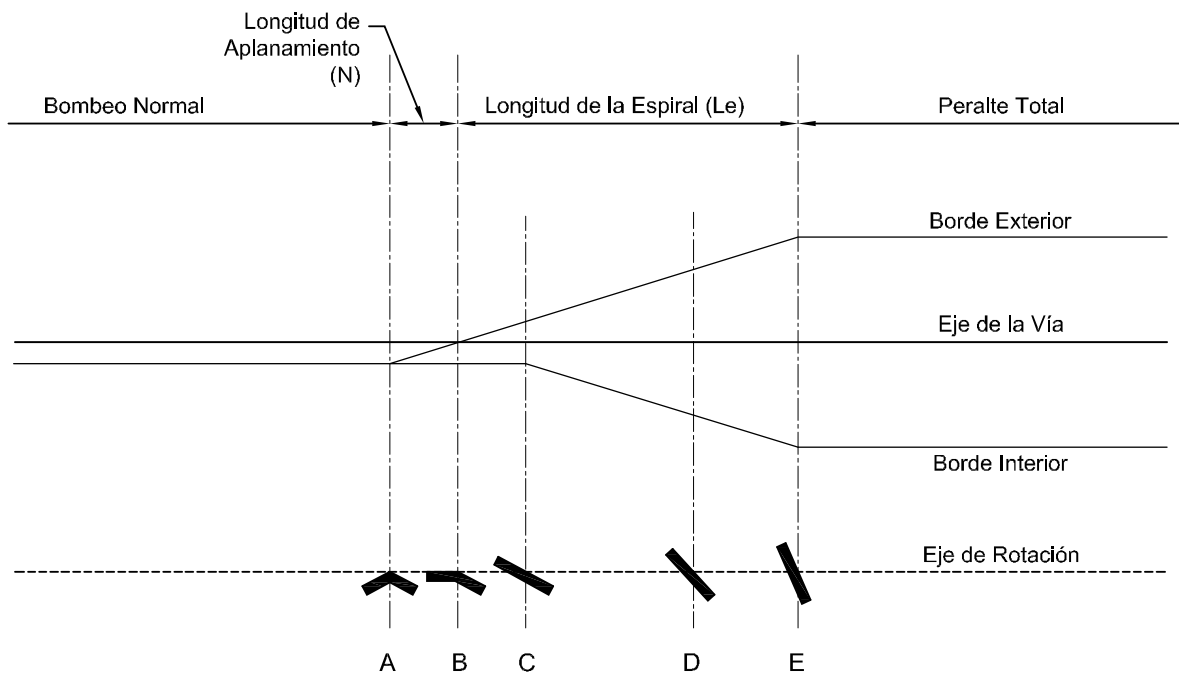


Figura 3.21a. – Calzada girada alrededor del eje

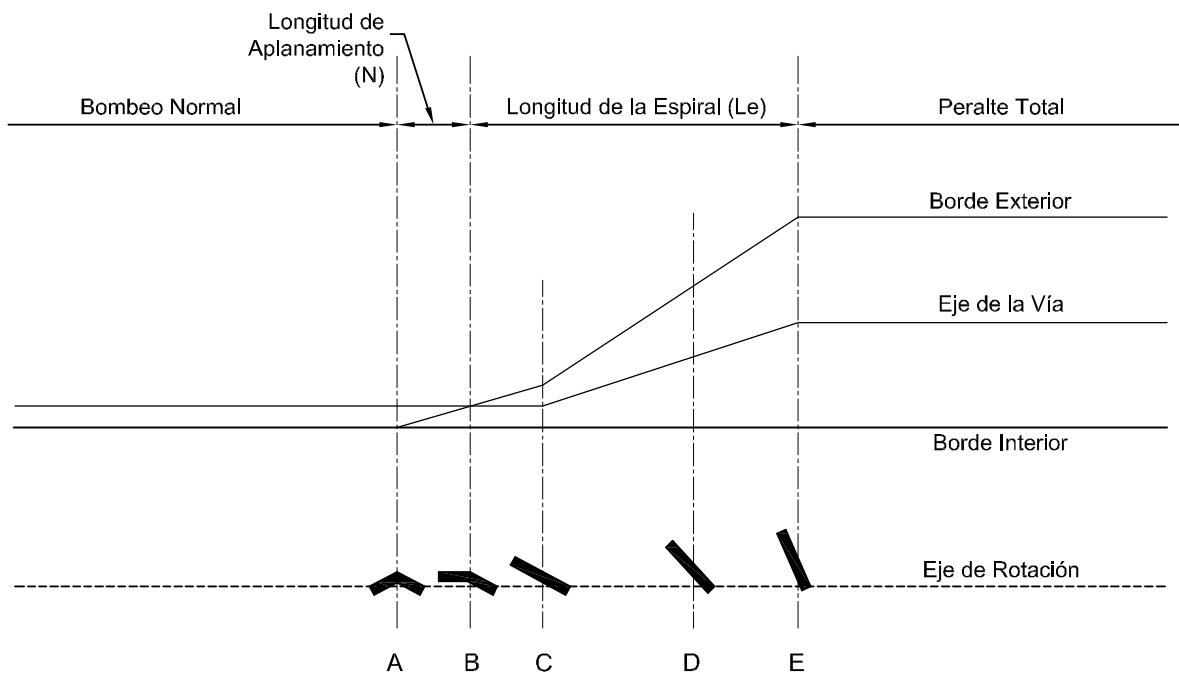


Figura 3.21b. – Calzada girada alrededor del borde interior

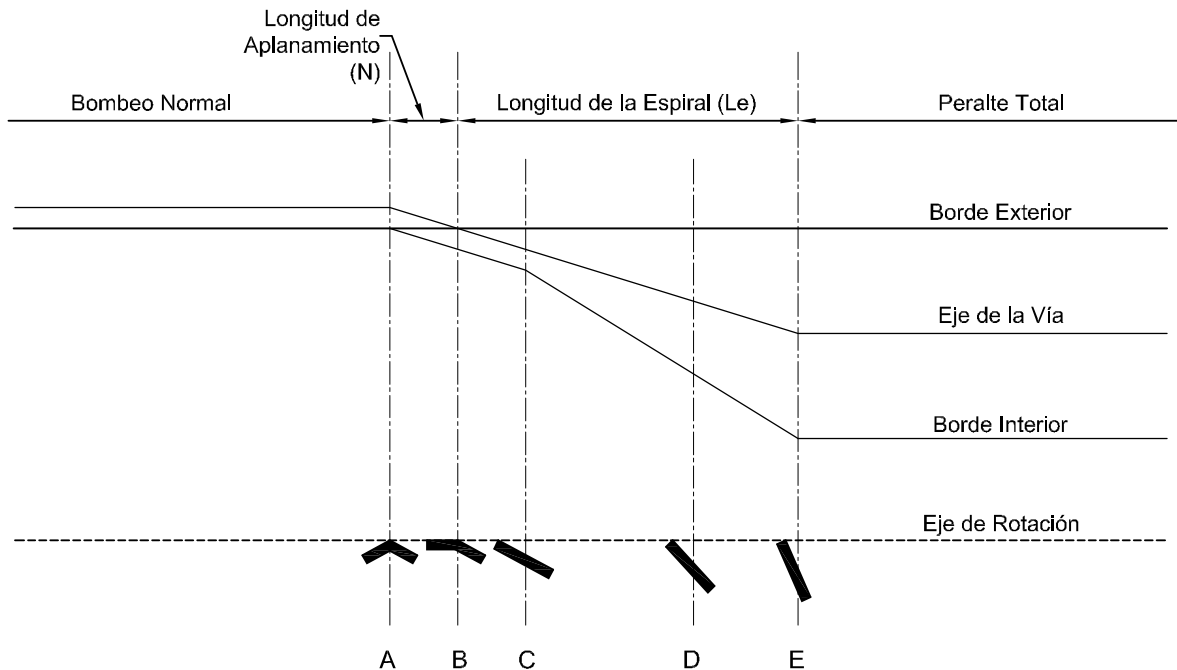


Figura 3.21c. – Calzada girada alrededor del borde exterior

3.2.3.3. Rotación en carreteras de dos calzadas

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

De acuerdo con las Figuras 3.21, existen tres métodos generales del desarrollo de peraltes, dependiendo del ancho del separador y de la sección transversal, estos son:

- **Método A.** La totalidad de la vía incluyendo el separador, es peraltado como una sola sección plana, ver caso 2 Figura 3.22.
- **Método B.** El separador es mantenido en un plano horizontal y las dos calzadas en forma separada son rotadas alrededor de los bordes del separador, ver caso 3 Figura 3.22.
- **Método C.** Para el desarrollo del peralte, las calzadas son tratadas en forma separada, con una diferencia variable de la elevación de los bordes del separador central, ver caso 4 Figura 3.22.

El caso 2 es necesariamente limitado a separadores estrechos del orden de uno a dos metros (1 m – 2 m) y moderadas tasas de peralte máximo, para evitar grandes diferencias en la elevación de los bordes extremos del pavimento a causa de la inclinación del separador. En el método de rotar alrededor del centro del separador, los controles en el diseño del peralte serán similares a aquellos de la

Figura 3.21a, si la sección transversal en la entretangencia horizontal es el bombeo normal.

El caso 3 se aplica para anchos mayores del separador, hasta del orden de diez metros (10 m), sosteniendo los bordes del separador central a nivel. La diferencia en la elevación de los extremos de los bordes de la calzada es limitada por su peralte y por el valor relativamente menor que el existente en el caso 2. El desarrollo del peralte para este caso se hace con los bordes del separador como perfil de control, en el cual una calzada es rotada alrededor de su borde derecho y la otra alrededor de su borde izquierdo.

El caso 4 se aplica para anchos de separadores intermedios mayores a 5 metros (5 m), en los que las diferencias de elevación de los bordes de la calzada son mínimas.

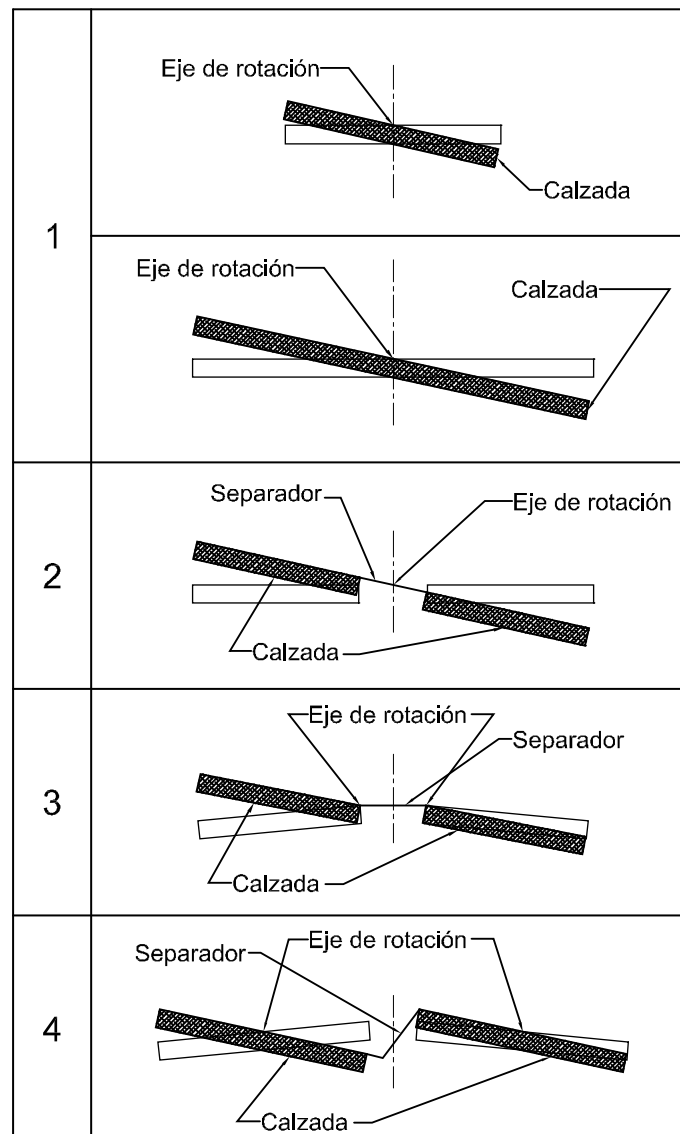


Figura 3.22. - Giros de las calzadas para vías con separador central

- **Curvas amplias que no requieren peralte**

Las curvas horizontales amplias no requieren peralte. Bajo esta situación los vehículos que recorren la curva por su parte interior cuentan con algún peralte en la sección de bombeo normal, mientras que los vehículos que circulan en dirección contraria cuentan con un peralte que resulta adverso o negativo, lo que genera una sección transversal con contraperalte; en estos casos, la fricción lateral que es necesaria para contrarrestar la aceleración lateral y el peralte negativo es pequeña.

En general es aceptable utilizar secciones en curva con contraperalte en Radios $\geq$ tres mil quinientos metros (3.500 m). El valor máximo del contraperalte para dichos Radios debe ser de dos por ciento (2%) (Bombeo Normal).

En el primer renglón de las Tablas 3.4 y 3.5 se indica el límite de la curvatura que necesita un peralte de uno punto cinco por ciento (1.5%) para cada una de las Velocidades Específicas, y en la parte inferior se indican sus respectivos Radios mínimos con los peraltes máximos. Es necesario asegurar que las curvas amplias tengan una sección transversal que sea suficiente para proveer un buen drenaje.

3.3. LONGITUD DE LA CURVA ESPIRAL

Las bondades del arco de transición denominado Clotoide, en comparación con el empleo del arco circular, son evidentes cuando en el diseño se utilizan los siguientes valores límite, como una medida de mantener condiciones geométricas y dinámicas de conducción aceptables.

3.3.1. Longitud mínima

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

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

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

Donde: $A_{\min}$: Parámetro mínimo, en metros.

V_{CH} : Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.

R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

J : Variación de la aceleración centrífuga, en m/s^3 .

e : Peralte de la curva, en porcentaje (%).

Se adoptan para J , los valores específicos dados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7.
Variación de la Aceleración centrífuga (J)

V_{CH} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J (m/s^3)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4

- **Criterio II.** Limitación por transición del peralte, en la determinación de los valores del parámetro mínimo. Se tendrá en cuenta la inclinación máxima permitida de la rampa de peraltes (Δs), ver Tabla 3.6. Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de tres metros (3.0 m), tres metros con treinta centímetros (3.30 m), tres metros con cincuenta centímetros (3.50 m) y tres metros con sesenta y cinco centímetros (3.65 m).

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

Donde: $A_{\min}$: Parámetro mínimo, en metros.

R_C : Radio de Cálculo de la clotoide, en metros

e : Peralte de la curva, en porcentaje (%).

a : Distancia del eje de giro al borde de la calzada, en metros.

Δs : Inclinación de la rampa de peraltes, en porcentaje (%).

- **Criterio III.** Condición de percepción y de estética, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura, orientando adecuadamente al conductor y creando alineamientos armoniosos.

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

- **Criterio III.1.** Se asume el disloque mínimo de veinticinco centímetros (0.25 m).

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

Donde: $A_{\min}$: Parámetro mínimo, en metros.

ΔR : Disloque de la clotoide, en metros.

R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

- **Criterio III.2.** Ángulo de giro de la espiral mínimo de tres grados (3°)

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 \times R_C} \geq 3^\circ = 0.05236 \text{ radianes}$$

$$L_{\min} = 0.10472 \times R_C$$

Luego:

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

Donde: $A_{\min}$: Parámetro mínimo, en metros.

R_C : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

L_e : Longitud de la clotoide, en metros.

θ_e : Ángulo de giro de la espiral

3.3.2. Longitud máxima

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

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

3.4. ENTRETANGENCIA HORIZONTAL

3.4.1. Entretangencia mínima

- **Para curvas de distinto Sentido**

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

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

- **Para curvas del mismo sentido**

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

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

Por su misma naturaleza, las curvas del mismo sentido se deben considerar indeseables en cualquier proyecto de carreteras, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Ya que por dificultades del terreno, son a veces imposibles de evitar, se debe intentar siempre el reemplazo de dos curvas del mismo sentido por una sola curva que las envuelva.

3.4.2. Entretangencia máxima

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

3.5. RELACIÓN ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS HORIZONTALES CONTIGUAS

Curvas sucesivas con entretangencia menor de cuatrocientos metros (400 m) se consideran dependientes, por lo tanto deben cumplir con una relación que se establece en la Tabla 3.8 para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) < 80 km/h y para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) ≥ 80 km/h. En la Tabla 3.9 se indican los valores obtenidos con la relación indicada en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8.
Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas

CONDICIÓN	RADIO DE SALIDA
$(V_{CH}) \geq 80 \text{ km/h}$	$1.5 \times R + 1.05 \times 10^{-8} \times (R - 250)^3 \times R$ $250 < R < 700$
$(V_{CH}) < 80 \text{ km/h}$	$1.5 \times R + 4.693 \times 10^{-8} \times (R - 50)^3 \times R$ $50 < R < 300$

Tabla 3.9.
Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)

$(V_{CH}) < 80 \text{ km/h}$			$(V_{CH}) \geq 80 \text{ km/h}$		
RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)		RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)	
	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	MÍNIMO
50	75	50	250	375	250
60	90	50	260	390	250
70	105	50	270	405	250
80	120	53	280	420	250
90	135	60	290	435	250
100	151	67	300	450	250
110	166	73	310	466	250
120	182	80	320	481	250
130	198	87	330	497	250
140	215	93	340	513	250
150	232	100	350	529	250
160	250	106	360	545	250
170	269	112	370	562	250
180	289	119	380	579	253
190	309	125	390	596	260
200	332	131	400	614	267
210	355	137	410	633	273
220	381	143	420	652	280
230	408	149	430	671	287
240	437	154	440	692	293
250	469	160	450	713	300
260	503	165	460	735	306
270	540	171	470	758	313
280	580	176	480	781	319
290	623	181	490	806	326
300	670	186	500	832	332
310	> 670	190	510	859	338
320		195	520	887	345
330		199	530	917	351
340		204	540	948	357
350		208	550	981	363

$(V_{CH}) < 80 \text{ km/h}$			$(V_{CH}) \geq 80 \text{ km/h}$		
RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)		RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)	
	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	MÍNIMO
360		212	560	1015	369
370		216	570	1051	375
380		220	580	1089	381
390		223	590	1128	386
400		227	600	1170	392
410		231	610	1214	398
420		234	620	1260	403
430		238	640	1359	414
440		241	660	1468	424
450		244	680	1588	434
460		247	700	1720	444
470		250	720	> 1720	453
480		253	740		462
490		256	760		471
500		259	780		479
510		262	800		488
520		265	820		495
530		267	840		503
540		270	860		510
550		273	880		517
560		275	900		524
570		278	920		531
580		280	940		537
590		282	960		544
600		285	980		550
610		287	1000		556
620		289	1020		561
640		294	1040		567
660		298	1060		572
680		302	1080		578
700		306	1100		583

3.6. LONGITUD MÍNIMA DE LA CURVA CIRCULAR

Para ángulos de deflexión entre tangentes menores o iguales a seis grados (6°), en el caso de que no se puedan evitar, se realizará la unión de las mismas mediante una curva circular simple de tal forma que se cumplan los criterios indicados en la Tabla 3.10. La aplicación de estos criterios define la longitud mínima de las curvas circulares puesto que evita diseñar curvas circulares con longitudes demasiado cortas que generan una defectuosa apariencia de la vía y producen la sensación de quiebre forzado entre dos alineamientos rectos.

Tabla 3.10.
Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos

ANGULO ENTRE ALINEAMIENTOS	6°	5°	4°	3°	2°
RADIO MÍNIMO (m)	2000	2500	3500	5500	9000

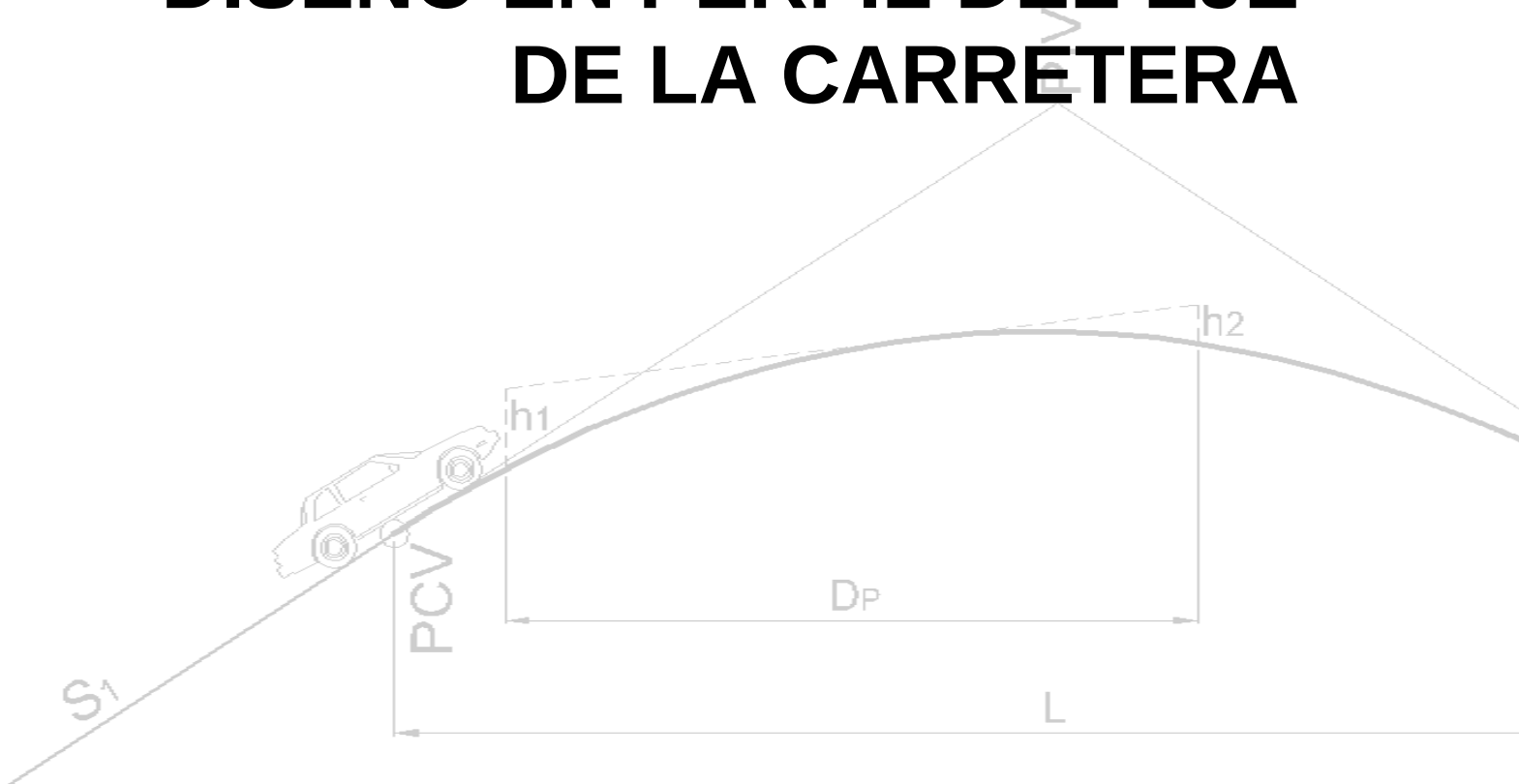
En las curvas espiralizadas que tiene tramo circular se reitera la necesidad de limitar la longitud de dicho tramo con la distancia recorrida a la Velocidad Específica (V_{CH}) durante dos segundos (2 s), ver numeral 3.1.1.2. Empalme espiral clotoide.

3.7. CURVAS HORIZONTALES QUE NO REQUIEREN ESPIRAL DE TRANSICIÓN

El diseñador puede omitir la espiral de transición, independientemente de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}), solo cuando el Radio de la curva horizontal sea superior a mil metros (1000 m).

CAPÍTULO 4

DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA



CAPITULO 4. DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA

El alineamiento vertical está formado por una serie de rectas enlazadas por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

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

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

4.1. TANGENTE VERTICAL

4.1.1. Pendiente mínima

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

4.1.2. Pendiente máxima

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

Para la selección de la pendiente máxima es necesario considerar dos situaciones. La primera, cuando durante el desarrollo de los estudios para la definición del corredor de ruta, que se llevan a cabo durante la Fase 1 del proyecto, se requiere adoptar la Pendiente Media Máxima del corredor ($P_{Mmáx}$), la cual debe estar en consonancia con la Velocidad de Diseño del tramo homogéneo. En la Tabla 4.1 se presentan los valores correspondientes. Ver el paso 7) del numeral 1.3.1.2.1. Actividades de la Fase 1, en el capítulo 1 del presente Manual.

Tabla 4.1.

Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (%) en función de la Velocidad de Diseño del Tramo homogéneo (V_{TR})

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

La segunda situación está asociada a la selección de la pendiente máxima de una tangente vertical en particular, caso en el que la pendiente máxima es función de la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}). En la Tabla 4.2 se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}).

Tabla 4.2.

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

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

Los valores indicados en la Tabla 4.2, que corresponden a los valores máximos para una tangente vertical, pueden ser aumentados en dos por ciento (2%) cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa. Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el PTV de la curva anterior coincide con el PCV de la siguiente.

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

4.1.3. Longitud mínima

La longitud mínima de las tangentes verticales con Velocidad Específica menor o igual a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} \leq 40$ km/h) será equivalente a la distancia recorrida en siete segundos (7 s) a dicha velocidad, medida como proyección horizontal, de PIV a PIV. Las tangentes verticales con Velocidad Específica mayor a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} > 40$ km/h) no podrán tener una longitud menor a la distancia recorrida en diez segundos (10 s) a dicha velocidad, longitud que debe ser medida como proyección horizontal entre PIV y PIV. En la Tabla 4.3 se presentan los valores para diferentes Velocidades Específicas de la tangente vertical (V_{TV}).

Tabla 4.3.
Longitud mínima de la tangente vertical

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

4.1.4. Longitud máxima

4.1.4.1. Longitud crítica de la tangente vertical

El diseño del eje en perfil de la carretera debe considerar la longitud máxima de la tangente vertical. Este criterio debe ser aplicado en el desarrollo de la Fase 1, cuando se realiza el trazado de la línea pendiente, ya que es fundamental dejar habilitado el corredor para que sea congruente con la pendiente máxima y la longitud crítica de las tangentes verticales.

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

- Relación peso/potencia del vehículo pesado de diseño.
- Velocidad media de operación de los vehículos pesados en tramos a nivel de la carretera que se diseña.

- La velocidad media de operación de los vehículos pesados se estima con base en los resultados del estudio de tránsito y de la geometría de la vía.
- Pérdida aceptable de velocidad de los vehículos pesados en la tangente vertical.

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

El parque de vehículos de carga que circula por las carreteras colombianas, presenta en la práctica, unas características de operación que, en promedio, se pueden asimilar a las siguientes relaciones Peso/potencia:

- Camiones de chasis rígido (Categoría 2 y Categoría 3): 150 kg/HP.
- Camiones articulados (Categoría 3S2 y Categoría 3S3): 180 kg/HP.

En la Figuras 4.1 y 4.2 se presentan las curvas de pérdida de velocidad en función de la pendiente de la tangente vertical para los vehículos con las relaciones Peso/potencia arriba mencionadas. Con dichas curvas es posible determinar la distancia en la que un vehículo que inicia el recorrido de una tangente vertical pierde veinticinco kilómetros por hora (25 km/h) respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña. Tal distancia, como ya se manifestó, corresponde a la Longitud crítica.

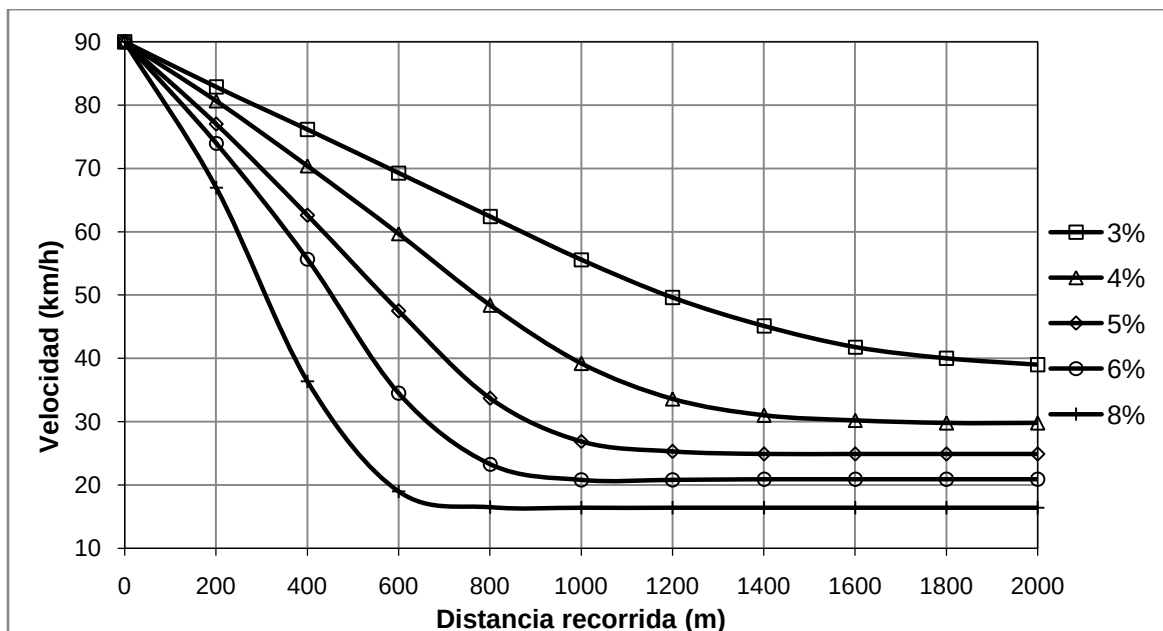


Figura 4.1. – Efecto de las pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 150 kg/HP

4.1.4.2. Pendiente de la tangente vertical siguiente a la de longitud crítica

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

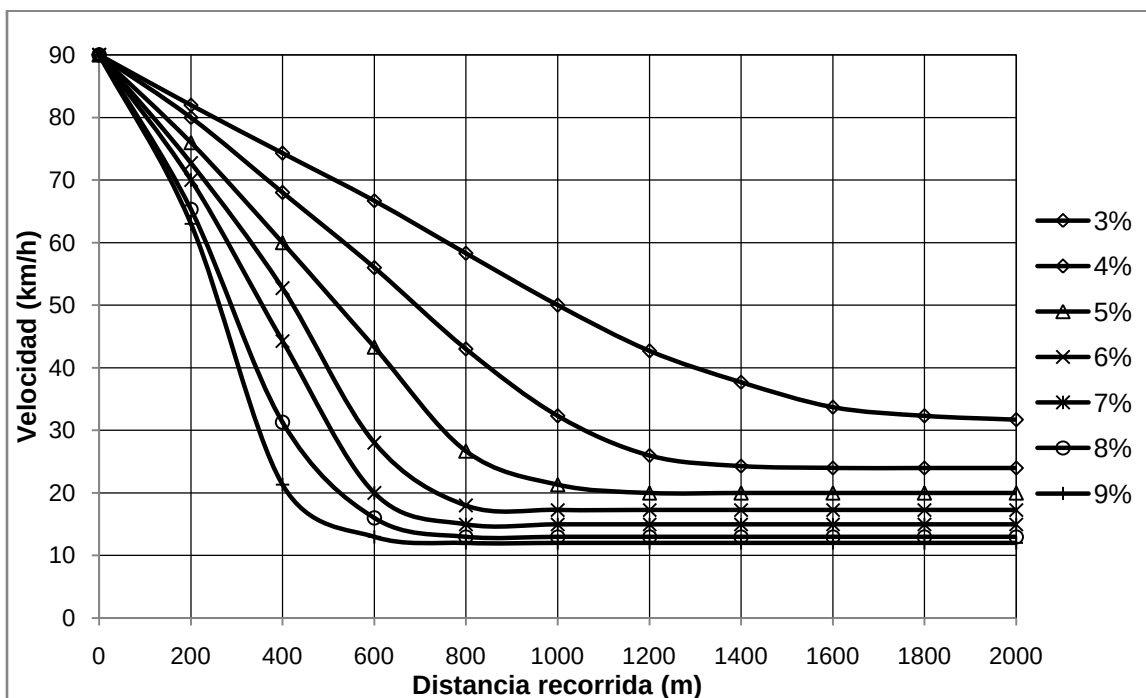


Figura 4.2. – Efecto de las pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 180 kg/HP

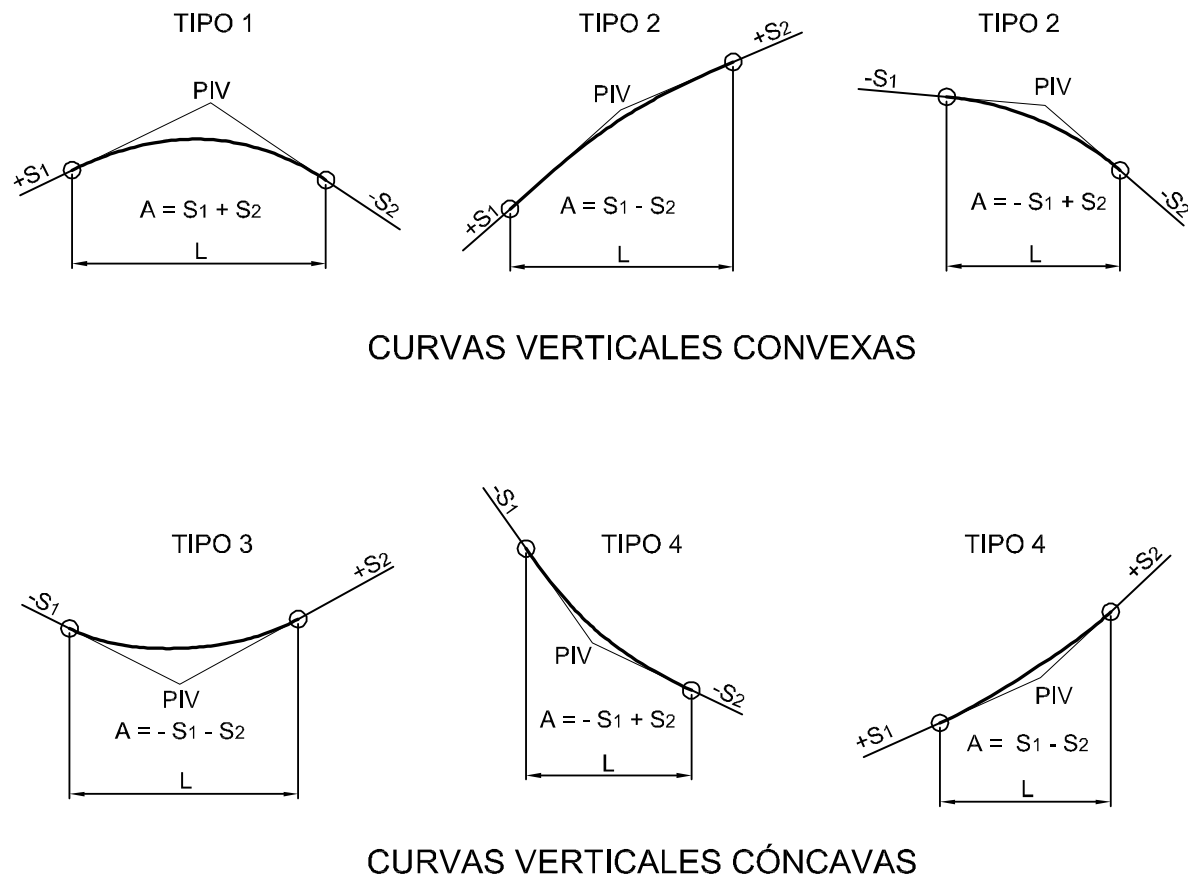
4.2. CURVAS VERTICALES

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

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

4.2.1. Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma como curvas verticales cóncavas y convexas y de acuerdo con la proporción entre sus ramas que las forman como simétricas y asimétricas. En la Figura 4.3 se indican las curvas verticales cóncavas y convexas y en la Figura 4.4 las curvas verticales simétricas y asimétricas.



S_1 = Pendiente de entrada
 S_2 = Pendiente de salida

A = Diferencia de pendientes
 L = Longitud de la curva

K = Variación por unidad de pendiente:
 $K = \frac{L}{A}$

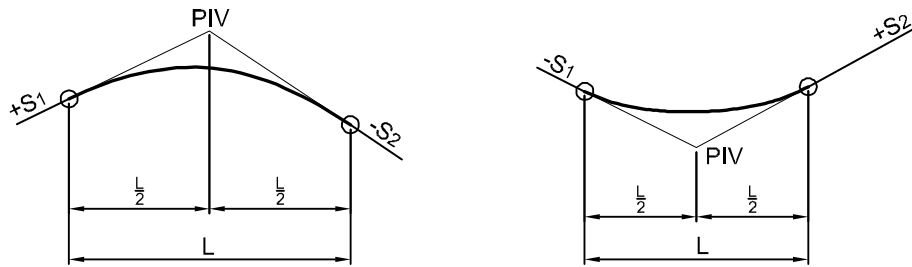
Figura 4.3 - Tipos de curvas verticales cóncavas y convexas

4.2.2. Descripción y cálculo de los elementos geométricos

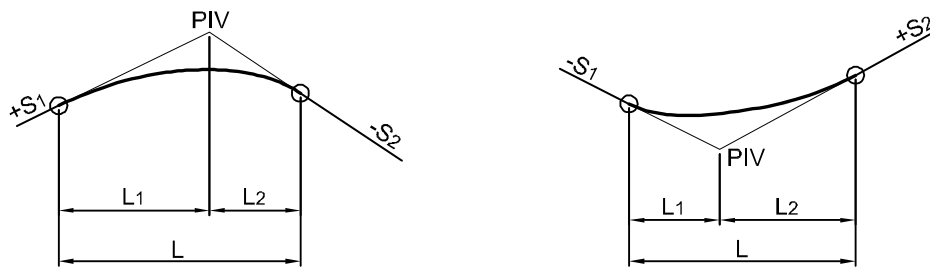
4.2.2.1. Elementos geométricos de la curva vertical simétrica

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

parábola cuadrática, cuyos elementos principales y expresiones matemáticas se incluyen a continuación, tal como se aprecia en la Figura 4.5.



CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS



CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS

L = Longitud de la curva L_1 = Longitud rama de entrada L_2 = Longitud rama de salida

Figura 4.4 - Tipos de curvas verticales simétricas y asimétricas

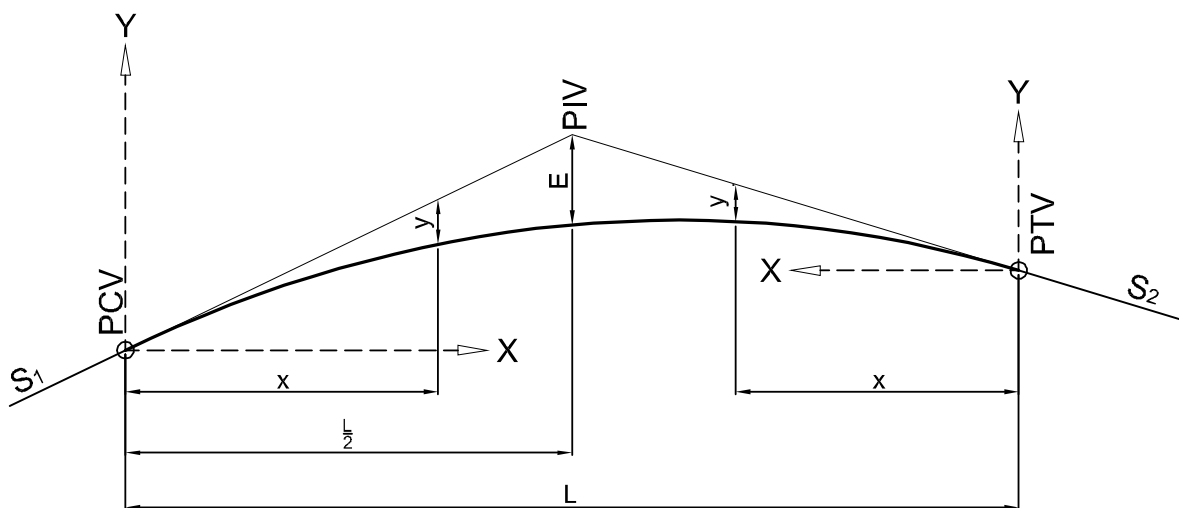


Figura 4.5. - Elementos de la curva vertical simétrica

- Donde:
- PCV: Principio de la curva vertical.
 - PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales.
 - PTV: Terminación de la curva vertical.
 - L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros.
 - S_1 : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).
 - S_2 : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).
 - A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%), o sea

$$A = |S_1 - S_2|$$

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

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

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

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

4.2.2.2. Elementos geométricos de la curva vertical asimétrica

La curva vertical asimétrica está conformada por dos parábolas de diferente longitud (L_1 , L_2) que se unen en la proyección vertical del PIV. Ver Figura 4.6.

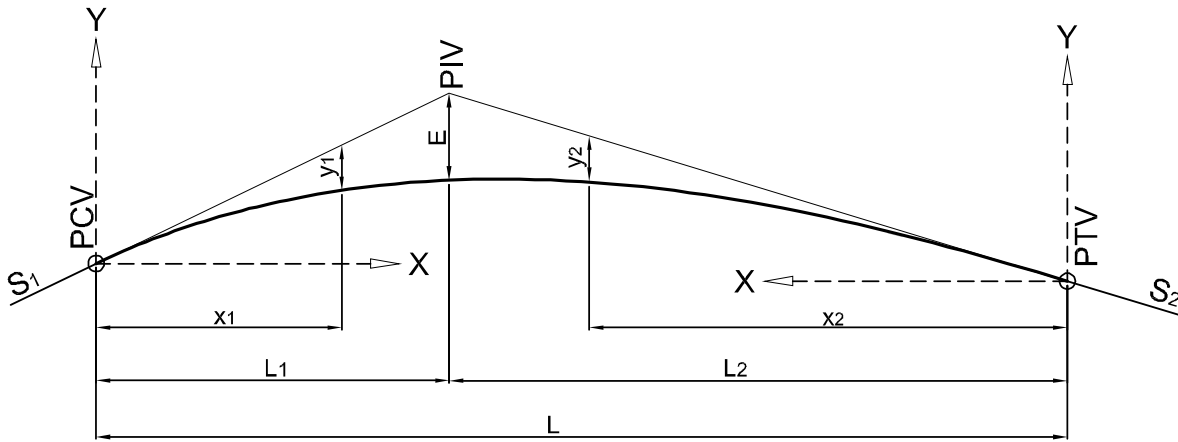


Figura 4.6. - Elementos de la curva vertical asimétrica

Donde: PCV: Principio de la curva vertical.

PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales.

PTV: Terminación de la curva vertical.

S_1 : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).

S_2 : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).

L_1 : Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal, en metros.

L_2 : Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal, en metros.

L : Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros, se cumple: $L = L_1 + L_2$ y $L_1 \neq L_2$.

A : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%), o sea:

$$A = |S_1 - S_2|$$

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

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

x_1 : Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV.

x_2 : Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV.

y_1 : Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PCV, se calcula mediante la expresión:

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

y_2 : Ordenada vertical en cualquier punto de la segunda rama medida desde el PTV, su ecuación es:

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

4.2.3. Determinación de la longitud de la curva vertical

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

- **Criterio de seguridad**

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

- **Criterio de operación**

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

- **Criterio de drenaje**

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

4.2.3.1. Curva convexa

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

De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima se obtiene mediante la aplicación de la Distancia de Visibilidad de Parada (D_P). Se presentan dos relaciones entre la distancia de visibilidad (D_P) y la Longitud de la curva (L): Cuando $D_P < L$ y $D_P > L$. Las ecuaciones que se indican a continuación presentan la longitud de la curva para cada relación, teniendo en cuenta la altura del ojo de conductor sobre la calzada (h_1), que es igual a un metro con ocho centímetros (1.08 m), y la altura del obstáculo (h_2), que es igual a sesenta centímetros (0.60 m).

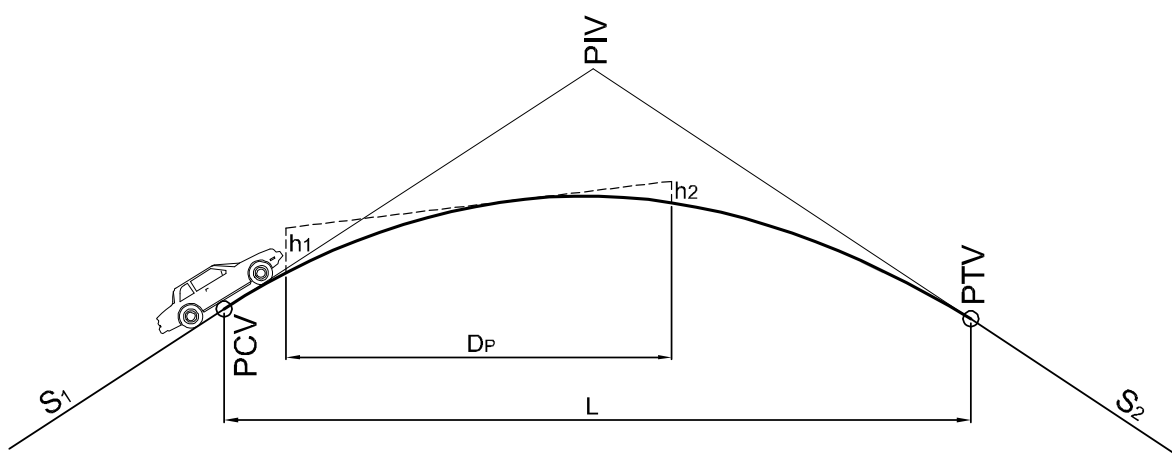


Figura 4.7. - Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad

- Cuando $D_P < L$ (ver Figura 4.7):

$$L_{\text{mín}} = \frac{A_x (D_P)^2}{200_x (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

- Donde:
- $L_{\text{mín}}$: Longitud mínima de la curva, en metros.
 - A : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
 - D_P : Distancia de visibilidad de parada, asociada a la Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV}), en metros.
 - h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros. $h_1 = 1.08$ m.
 - h_2 : Altura del obstáculo, en metros. $h_2 = 0.60$ m.

Reemplazando los valores de h_1 y h_2 se tiene:

$$L_{\min} = \frac{A \times (D_P)^2}{658}$$

- Cuando $D_P > L$:

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

Reemplazando los valores de h_1 y h_2 :

$$L_{\min} = 2 \times D_P - \frac{658}{A}$$

Por lo tanto,

$$L_{\min} = \frac{A \times (D_P)^2}{658}$$

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

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

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

Y utilizando la ecuación adoptada se tiene:

$$K = \frac{(D_P)^2}{658}$$

Los valores de $K_{\min}$ para curvas convexas se presentan en la Tabla 4.4 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (V_{CV}) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

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

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

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

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

Donde: $L_{\min}$: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{CV} : Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h

Las longitudes de curvas que permiten una distancia de visibilidad de adelantamiento son demasiado grandes comparadas con la aplicación de los controles anteriores y se generan valores que son imprácticos e inusuales. No se recomienda proporcionar distancia de visibilidad de adelantamiento en curvas verticales convexas.

- **Longitud máxima de la curva vertical convexa según el criterio de drenaje**

En el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa con pendiente S_1 y S_2 de diferente signo se tiene un corto tramo a nivel (pendiente = 0%), que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual la AASHTO – 2004 considera que un valor de A igual a cero punto seis por ciento (0.6%) en un tramo de la curva igual a treinta metros (30 m), provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva.

$$K_{\max} = \frac{30}{0.6} = 50$$

Para garantizar el drenaje adecuado en la cresta de la curva vertical convexa se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).

4.2.3.2. Curva cóncava

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

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

grado (1°). De la misma forma que en las curvas convexas se presentan dos situaciones:

- Cuando $D_P < L$ (ver Figura 4.8)

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

En términos generales, se tiene que:

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

Donde: D_P : Distancia de visibilidad de parada, en metros.

H : Altura de los faros delanteros del vehículo, igual a sesenta centímetros (0.60 m).

α : Ángulo de divergencia de los rayos de luz de los faros delanteros. $\alpha = 1^\circ$.

A : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

Reemplazando los valores en la expresión anterior:

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

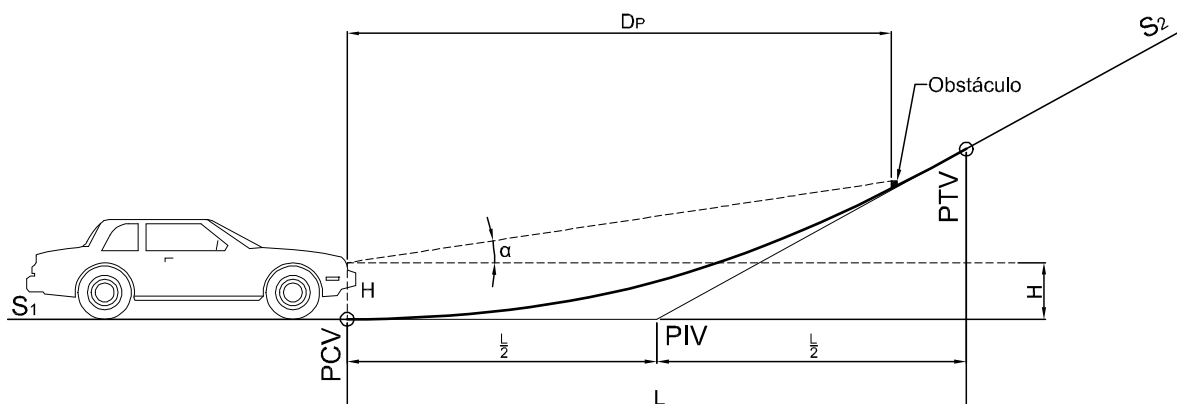


Figura 4.8 - Elementos para determinar la longitud mínima de una curva vertical cóncava según el criterio de seguridad

- Cuando $D_P > L$

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

$$L_{\min} = 2 \times D_P - \frac{200 \times (0.6 + D_P \times \tan \alpha)}{A}$$

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

$$L_{\min} = 2 \times D_P - \frac{120 + 3.5 \times D_P}{A}$$

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

Por lo tanto:

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

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

$$K_{\min} = \frac{(D_P)^2}{120 + 3.5 \times D_P}$$

Los valores de $K_{\min}$ para curvas cóncavas se presentan en la Tabla 4.3 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (V_{CV}) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

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

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

Se aplica el mismo criterio de las curvas convexas y por lo tanto la longitud mínima de la curva cóncava se expresa por:

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

Para la distancia de visibilidad de adelantamiento, de paso o de rebase, no es indispensable su cálculo, ya que es posible ver las luces del vehículo que viene en sentido contrario.

- Longitud máxima de la curva vertical cóncava según el criterio de drenaje

Es necesario controlar la longitud máxima de la curva vertical cóncava para evitar el empozamiento de las aguas superficiales en la batea o punto más bajo de la curva. De acuerdo con este criterio, se debe diseñar la curva vertical cóncava con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).

Tabla 4.4.

Valores de $K_{\min}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales

VELOCIDAD ESPECÍFICA V _{cv} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K _{mín}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 ⁽¹⁾
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 ⁽¹⁾
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

⁽¹⁾ La adopción de este valor tiene como finalidad garantizar unas mínimas condiciones de estética a las carreteras, y por consiguiente de comodidad para los usuarios.

4.2.4. Distancia de visibilidad bajo estructuras

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

Los criterios de diseño en perfil para estos casos son los mismos que se aplican en cualquier otro punto de la vía, excepto en algunos casos donde se presentan curvas verticales cóncavas localizadas en pasos inferiores, como se presenta en la Figura 4.9. Aunque no es frecuente, la estructura inferior (vigas) puede cortar la línea de visibilidad y limitar la distancia de visibilidad a menos que esto se considere en el diseño. En los casos donde se presente la anterior situación por limitaciones impuestas por el requisito del gálibo mínimo, no se puede reducir la distancia de visibilidad por debajo del valor mínimo de parada (D_P).

En algunos casos el diseñador debe chequear la distancia de visibilidad disponible bajo un paso inferior, para lo cual se recomienda proveer una distancia de visibilidad igual a la de adelantamiento (D_a). Tales chequeos se realizan gráficamente sobre el perfil de la vía, pero también se puede recurrir a herramientas computacionales.

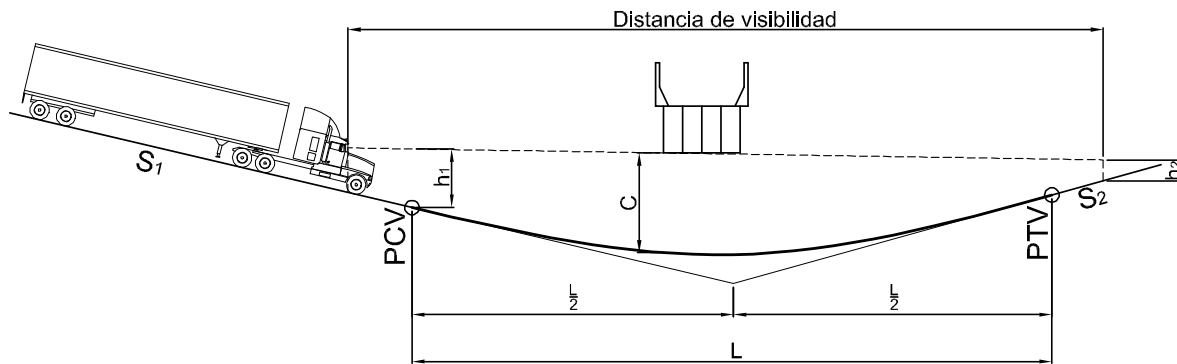


Figura 4.9. – Distancia de visibilidad bajo estructuras

Las expresiones generales para la longitud de la curva vertical cóncava bajo estructuras son:

Caso 1. Distancia de visibilidad mayor que la longitud de la curva vertical ($D_p > L$):

$$L = 2 \times D_p - \frac{800 \times \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}{A}$$

Donde: L: Longitud de la curva vertical, en metros.

D_p : Distancia de visibilidad de parada, en metros.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

C: Gálibo, en metros.

h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros

h_2 : Altura del obstáculo, en metros.

Caso 2. Distancia de visibilidad menor que la longitud de la curva vertical ($D_p < L$):

$$L = \frac{A \times D_p^2}{800 \times \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}$$

- Donde:
- L: Longitud de la curva vertical, en metros.
 - D_P : Distancia de visibilidad de parada, en metros.
 - A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
 - C: Gálibo, en metros.
 - h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros.
 - h_2 : Altura del obstáculo, en metros.

Usando como altura de los ojos del conductor (h_1) un valor de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m.) correspondiente a la altura para un conductor de camión, y una altura de obstáculo (h_2) de sesenta centímetros (0.60 m.) correspondiente a las luces traseras de un vehículo, se obtienen las siguientes ecuaciones:

Caso 1. Distancia de visibilidad mayor que la longitud de la curva vertical ($D_P > L$):

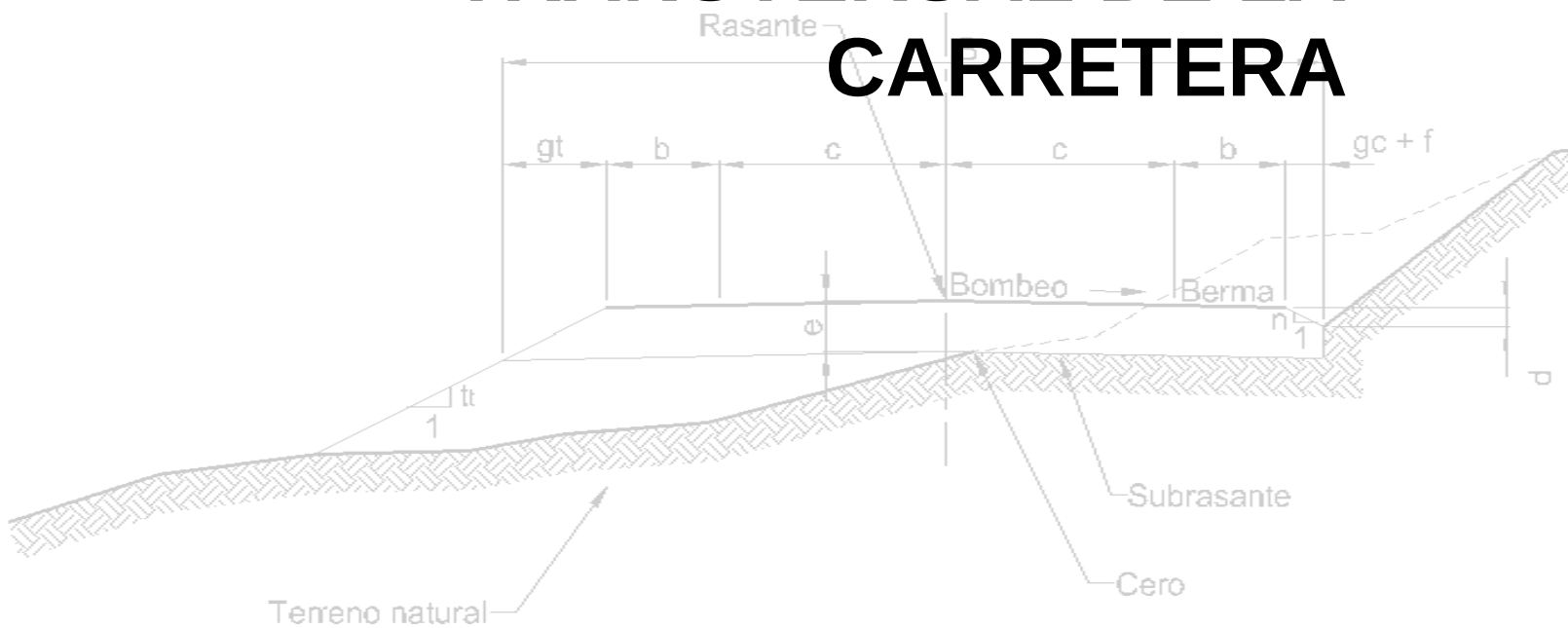
$$L = 2 \times D_P - \frac{800 \times (C - 1.5)}{A}$$

Caso 2. Distancia de visibilidad menor que la longitud de la curva vertical ($D_P < L$):

$$L = \frac{A \times D_P^2}{800 \times (C - 1.5)}$$

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA



CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

5.1. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

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

En las Figuras 5.1.a, 5.1.b y 5.1.c se ilustran las secciones típicas según la categoría de la carretera.

5.2. ANCHO DE ZONA O DERECHO DE VÍA

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

El ancho de zona debe estar en el rango presentado en la Tabla 5.1, salvo que circunstancias particulares del proyecto justifiquen extrapolar el límite superior.

Tabla 5.1.
Ancho de Zona

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

5.3. CORONA

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

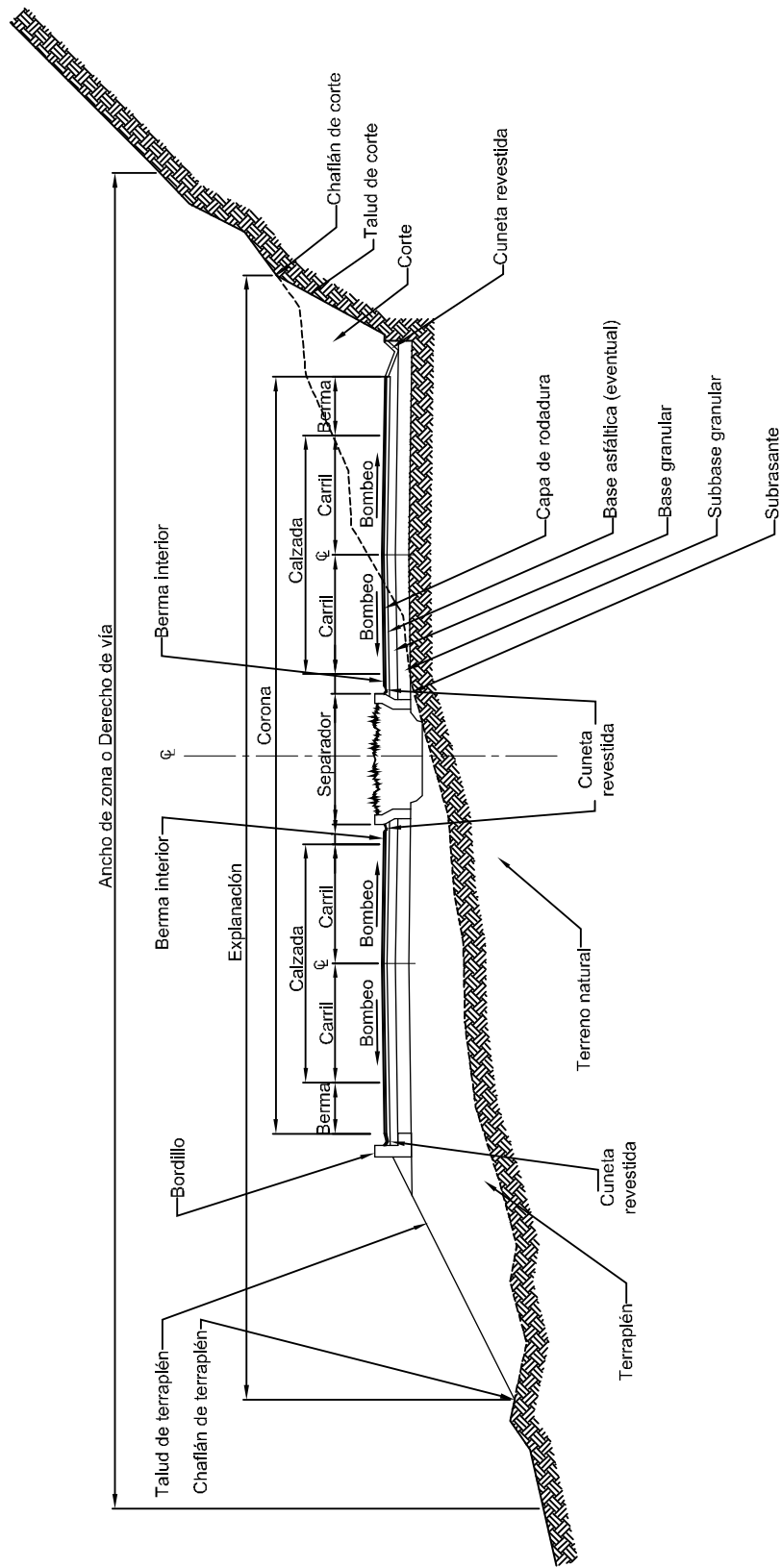


Figura 5.1a. – Sección transversal típica en vías de doble calzada

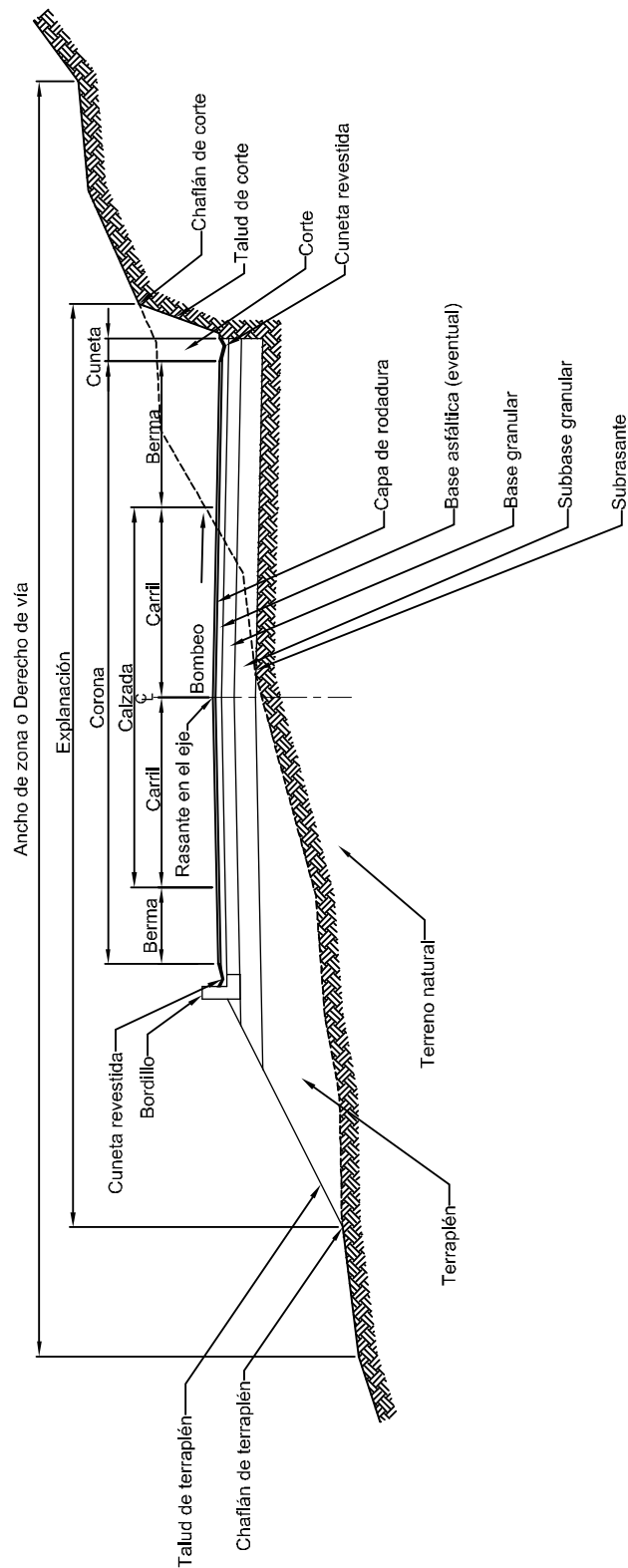


Figura 5.1b. – Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias

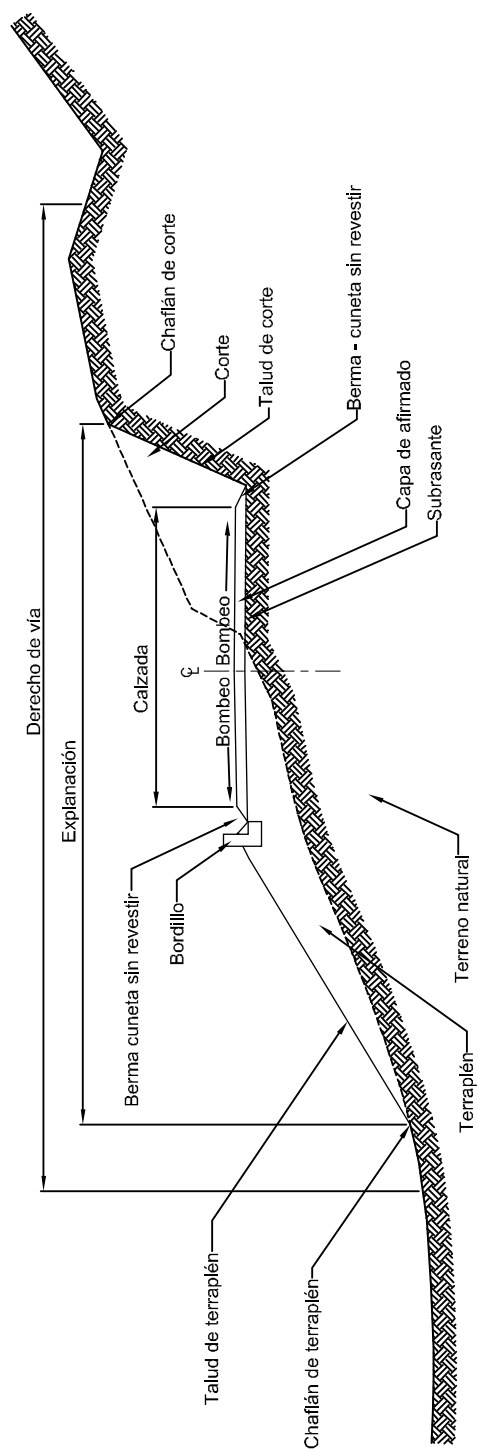


Figura 5.1c. – Sección transversal típica en vías Terciarias

5.3.1. Calzada

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

5.3.1.1. Ancho de calzada

En la Tabla 5.2 se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis metros (6 m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario.

Tabla 5.2.
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	-	-	-	-	-	-	-	-

La calzada puede requerir sobreancho en curvas con Radios reducidos. En el numeral 5.4 se trata este aspecto.

5.3.1.2. Pendiente transversal en entretangencias horizontales

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

En entretangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura. En la Tabla 5.3 se presentan los valores correspondientes.

Tabla 5.3.
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

En carreteras de dos calzadas con separador central, en ocasiones se facilita la evacuación del agua drenándola transversalmente hacia el separador central. En la Figura 5.2 se presenta el esquema que ilustra esta alternativa.

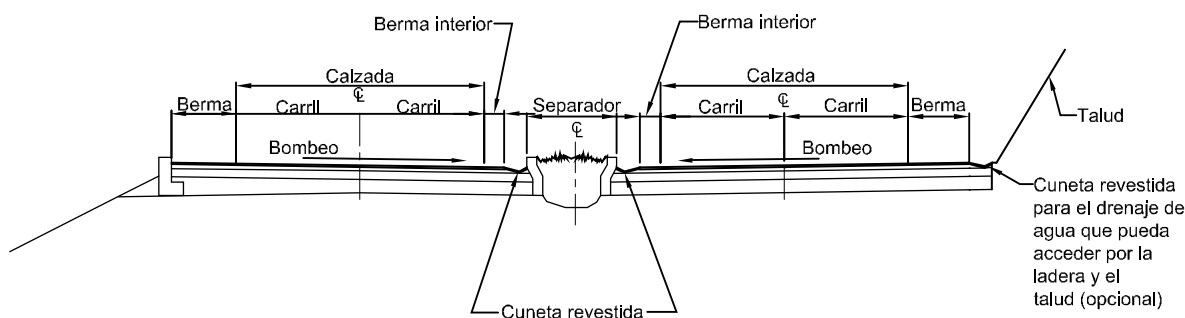


Figura 5.2. – Forma alternativa del bombeo en una carretera de dos calzadas

5.3.2. Bermas

La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad.

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

5.3.2.1. Ancho de berma

El ancho de las bermas depende de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En la Tabla 5.4 se presenta el ancho que deben tener.

Tabla 5.4.
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

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

5.3.2.2. Pendiente transversal

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

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

5.4. SOBREALCHO EN LAS CURVAS

En curvas de radio reducido, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera, se debe ensanchar la calzada con el

objeto de asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la calzada.

5.4.1. Determinación del sobreancho

5.4.1.1. Vehículos rígidos

En la Figura 5.3 se ilustran dos vehículos pesados de tipo rígido, circulando en una curva de radio R_C .

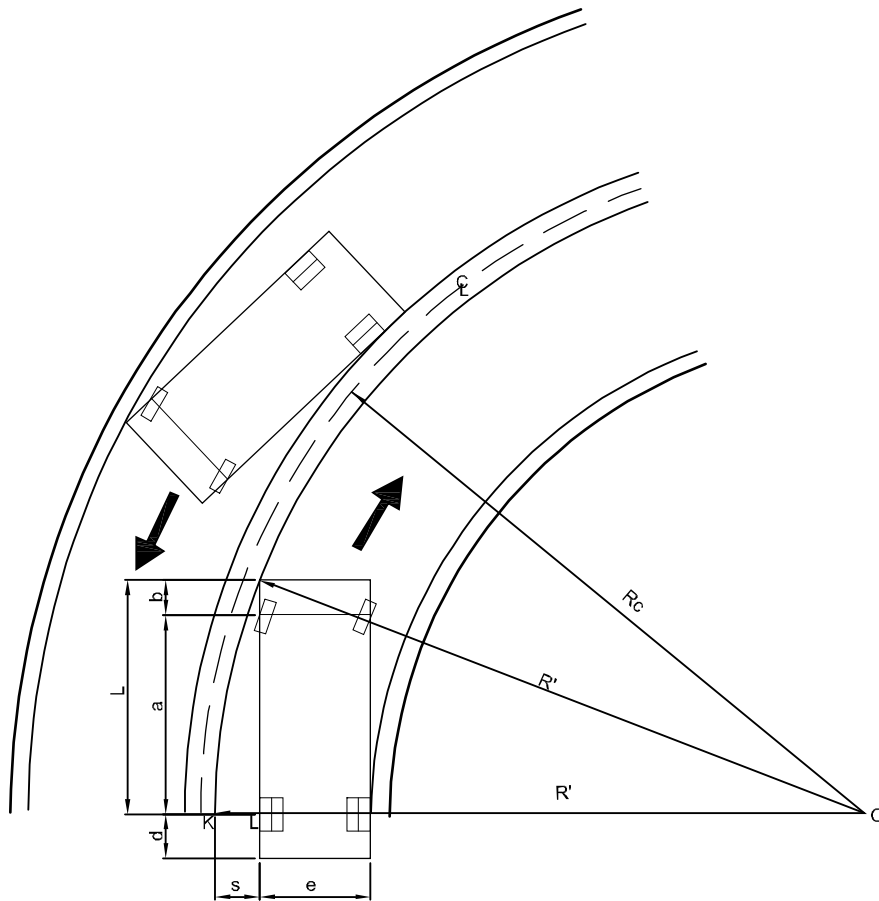
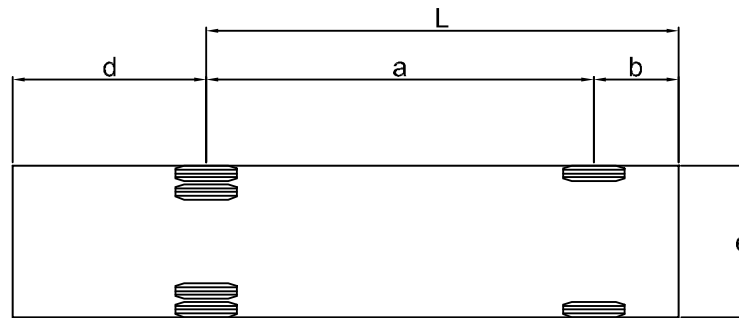


Figura 5.3. – Sobreancho en las curvas

En la Tabla 5.5 se indican las dimensiones de los vehículos representativos de cada categoría.

Tabla 5.5.
Dimensiones para el cálculo del sobreancho en los vehículos de tipo rígido



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

De la Figura 5.3 se puede deducir que:

$$\overline{OK} = R'$$

Donde: R' : Radio hasta el extremo del parachoques delantero.

$$s = R' - \overline{OL}$$

Donde: s : Sobreancho requerido por un carril

$$s = R' - \sqrt{R'^2 - L^2}$$

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

Si se asume que R' es sensiblemente igual a R_C , se tiene que para una calzada de n carriles:

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

Donde: S : Sobreancho requerido para la calzada.

n : Número de carriles.

R_C : Radio de la curva circular

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

Igualmente, el sobreancho estará limitado a curvas de Radio menor a ciento sesenta metros (160 m) y todo el sobreancho requerido por los carriles que integran la calzada se debe construir en la parte interior de la curva. La línea central divisoria de carriles, demarcada sobre el pavimento, se debe fijar en la mitad de los bordes de la calzada ya ensanchada.

En vías Terciarias, el sobreancho de la curva se puede determinar de acuerdo con el gráfico de la Figura 5.4, para cualquier valor del radio de curvatura, R_C . El gráfico está elaborado teniendo en cuenta un carril; para calzadas de n carriles, el sobreancho se determina multiplicando el valor dado en el gráfico por el número de carriles (n). En términos generales, dicho valor se calcula mediante la siguiente relación:

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

Donde: S: Ancho requerido por la calzada, en metros.

n: Número de carriles.

R_C : Radio de la curva, en metros.

La Figura 5.4 aplica para un camión de dos ejes con $L = 8.0$ m. Los valores de sobreancho calculados se pueden redondear, para obtener valores que sean múltiplos de diez centímetros (0.10 m).

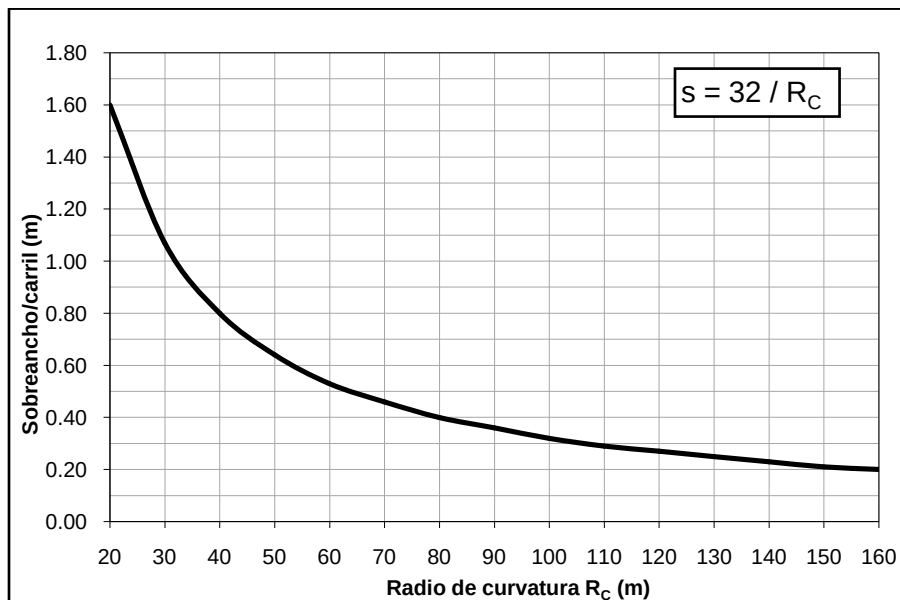
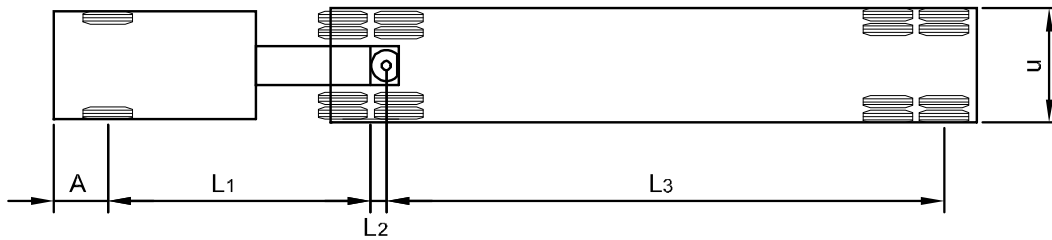


Figura 5.4. - Sobreancho de la curva para un carril en carreteras Terciarias

5.4.1.2. Vehículos articulados

En la Tabla 5.6 se presenta el vehículo articulado, conformado por una unidad tractora y semirremolque. Las dimensiones ilustradas corresponden a las requeridas para el cálculo del sobreancho.

Tabla 5.6.
Dimensiones para el cálculo del sobreancho requerido por el vehículo articulado representativo del parque automotor colombiano



	CATEGORÍA	A (m)	L ₁ (m)	L ₂ (m)	L ₃ (m)	u (m)
3S2	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.0	12.97	2.59

El Manual AASHTO versión 2004 presenta el siguiente procedimiento para la determinación del sobreancho requerido en una curva. En la Figura 5.5 se presenta el esquema del sobreancho.

La expresión recomendada por la AASHTO es la siguiente:

$$S = A_C - A_T$$

Donde: S: Sobreancho requerido por la calzada, en metros.

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

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

Ahora bien:

$$A_c = n \times (U + C) + (n - 1) \times F_A + Z$$

Donde: n: Número de carriles de la calzada

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

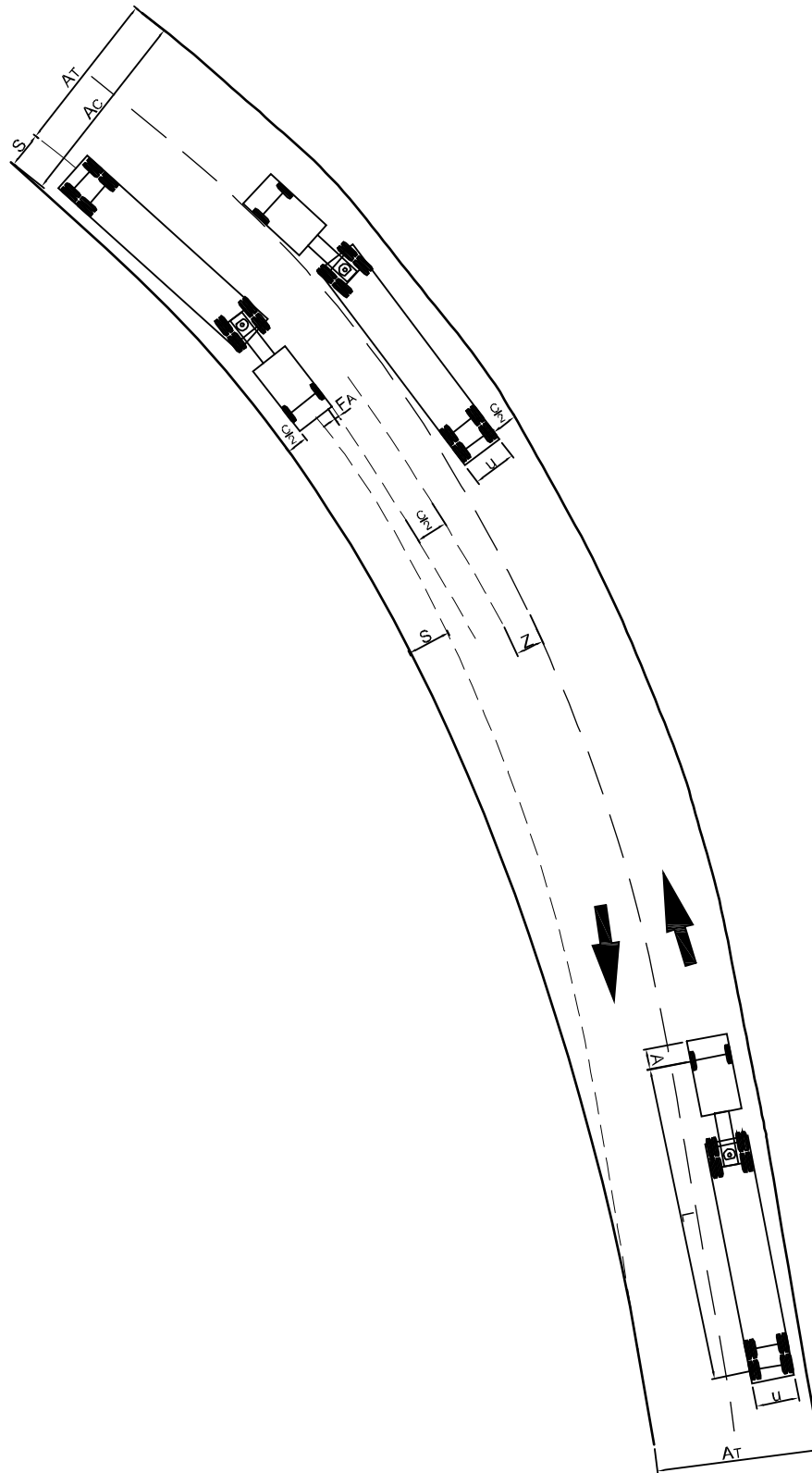


Figura 5.5. - Sobreancho requerido para una curva al ser recorrida por un vehículo articulado categoría 3S2.

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

- Donde:
- u: Ancho del vehículo en tangente, en metros. Ver Tabla 5.6.
 - R_c : Radio de la curva, en metros.
 - L_1, L_2 y L_3 : Dimensiones del vehículo, en metros. Ver Tabla 5.6.
 - C: Espacio lateral de seguridad que requiere cada vehículo, en metros. En la Tabla 5.7 se presenta el valor de C en función del ancho de la calzada.

Tabla 5.7.
Valor de C en función del ancho de la calzada

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

Nota: Para calzada de ancho diferente se puede encontrar el valor por interpolación.

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

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

- Donde:
- R_c : Radio de la curva, en metros.
 - A: Valor del voladizo o saliente delantero del vehículo, en metros Ver Tabla 5.6.
 - L_1 : Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora, en metros. Ver Tabla 5.6.
 - Z: Sobreancho adicional de seguridad, que depende de la curvatura y de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y cuyo propósito es facilitar la conducción sobre la curva, en metros. Este valor es experimental.

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

Donde: V_{CH} : Velocidad Específica de la curva, en km/h.

R_C : Radio de la curva, en metros.

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

5.4.2. Transición del sobreancho

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

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

En la Figura 5.6, se aprecia la transición del sobreancho (S), de tal manera que el sobreancho en cualquier punto (S_p), situado a una distancia L_p desde el inicio es:

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

Donde: S_p : Sobreancho correspondiente a la longitud L_p , en metros.

S: Sobreancho calculado para la curva, en metros.

L_p : Longitud elegida para determinar el sobreancho, en metros.

L: Longitud de transición del sobreancho, en metros.

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

Para la demarcación de la calzada, una vez pavimentada tanto la calzada como las bermas se debe proceder, desde el TE hasta el ET de la siguiente manera:

- Demarcar a cada lado el ancho proyectado de berma.
- Dividir la franja central restante en dos porciones iguales. El punto central corresponde al eje de la calzada a demarcar.

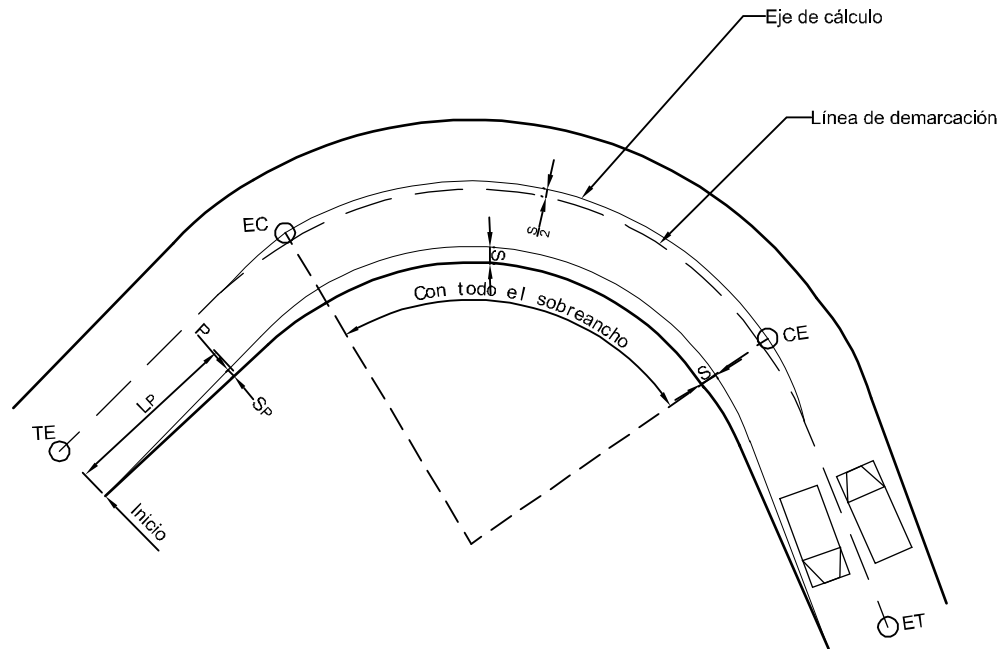


Figura 5.6. – Transición del sobreebanco en las curvas

5.5. VALOR DE LA FLECHA (M) PARA PROVEER LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN CURVA

La visibilidad de la vía en una curva horizontal puede estar limitada por obstáculos situados en el interior de la misma, tales como taludes en corte, vegetación, muros de contención y barreras de seguridad.

Para evitar esta restricción, debe existir una distancia mínima entre el eje del carril interior, que se toma como trayectoria del vehículo, y el obstáculo lateral, que permita a lo largo del sector circular conservar siempre una distancia de visibilidad de parada mayor o igual a la mínima especificada.

En consecuencia, en el interior de una curva horizontal se debe despejar de obstáculos una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos, cuya distancia es igual a la visibilidad deseada (ver Figura 5.7). El diseñador debe determinar la flecha (M) del arco subtendido por la curva que pasa por el punto de obstrucción lateral, que coincide con la dirección de la visual entre el vehículo y el obstáculo

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

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

Donde: M : Flecha, distancia del eje del carril interior al obstáculo, (m)
 R_C : Radio de la curva horizontal, (m)
 D_P : Distancia de visibilidad de parada, (m)

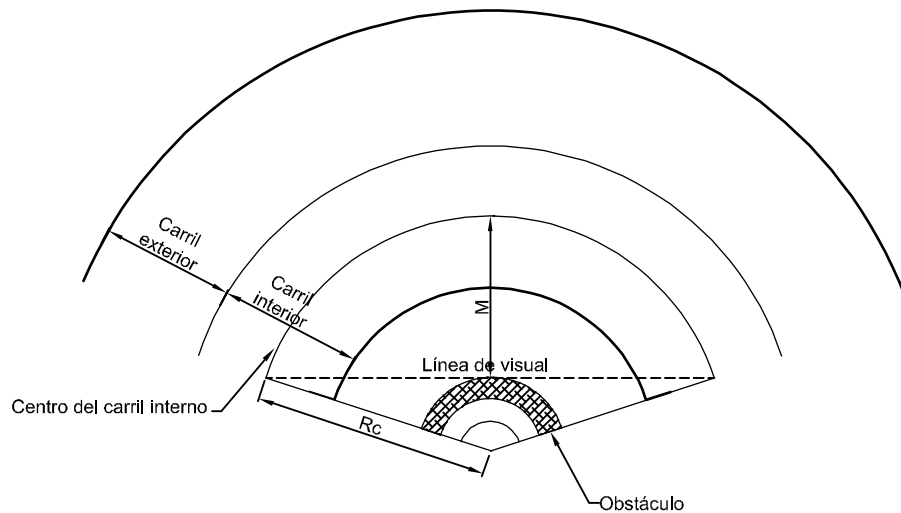


Figura 5.7. – Elementos geométricos que intervienen en la determinación de la flecha, M

5.6. CUNETAS

Son zanjas abiertas en el terreno, revestidas o no, que recogen y canalizan longitudinalmente las aguas superficiales y de infiltración. Sus dimensiones se deducen de cálculos hidráulicos, teniendo en cuenta la intensidad de lluvia prevista, naturaleza del terreno, pendiente de la cuneta, área drenada, etc.

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

5.6.1. Cunetas revestidas en concreto

Las cunetas revestidas en concreto se diseñan para que al final de su longitud su sección llegue al nivel de rebosamiento. El control de rebosamiento aplica para el caso más crítico, el cual se presenta cuando la cuneta tiene la pendiente longitudinal igual a la pendiente mínima de la vía. En general la pendiente mínima para los proyectos de carreteras es cero punto cinco por ciento (0.5%).

5.6.2. Cunetas sin revestir (cunetas en tierra)

Las cunetas en tierra se diseñan para asegurar que el agua no las va a erosionar. El control por erosión en las cunetas sin revestir depende del tipo de suelo de la subrasante, de la pendiente longitudinal de la vía y de la intensidad de la lluvia de diseño. Es necesario verificar la acción erosiva del agua sobre la superficie del suelo que forma la cuneta. La velocidad del agua depende directamente de la pendiente longitudinal de la vía y del caudal que llega del área tributaria definida por el ancho de impluvium y la longitud de dicha cuneta.

5.7. TALUDES

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

La inclinación de los taludes de corte es variable a lo largo de la vía según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. Los taludes en corte y en terraplén se deben diseñar de acuerdo con los lineamientos presentados en el “Manual de Estabilidad de Taludes” del Instituto Nacional de Vías, analizando las condiciones específicas del lugar, en relación con los aspectos geológico – geotécnicos, facilidades de mantenimiento, perfilado y estética, para optar por la solución más conveniente, entre diversas alternativas.

Si un terraplén se debe cimentar sobre terrenos que presenten inclinaciones superiores a veinte por ciento (20%) o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deben considerar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos. Los suelos de fundación con alto contenido de materia orgánica o muy compresibles, se deben retirar, o tratar, según sea el problema que los afecte.

En el caso de la construcción de terraplenes en laderas con pendientes pronunciadas, se deben construir escalones que minimicen el riesgo de deslizamiento por un eventual plano de contacto y además faciliten el proceso de compactación de las capas de dicho terraplén.

5.8. CARRILES ESPECIALES DE ASCENSO

La operación de las carreteras de dos carriles, además de estar limitada por la extensión y la frecuencia de las secciones de adelantamiento, está influenciada por el tránsito de camiones, principalmente en tangentes verticales con pendientes fuertes. El efecto se traduce en la disminución de la velocidad de los vehículos livianos y en la restricción de la distancia de visibilidad, todo lo cual se refleja en la afectación del nivel de servicio y en el aumento de los costos de operación.

En general los vehículos livianos no se ven influenciados por rampas (pendientes ascendentes) inferiores a siete por ciento (7%); pero los vehículos pesados, en rampas largas con pendientes superiores a tres por ciento (3%), sufren una disminución importante en su velocidad.

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

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

- A partir del sitio en donde la longitud de la pendiente haya causado a los vehículos pesados una reducción de veinticinco kilómetros por hora (25 km/h) respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.
- Cuando el Tránsito Promedio Diario (TPD) sea superior a 1000 vehículos y la inclinación de la rasante mayor de cuatro por ciento (4 %).
- Si la velocidad media del tránsito liviano disminuye del valor indicado en la Tabla 5.8 podría ser necesario utilizar un carril de ascenso.

Tabla 5.8.
Criterio para el establecimiento de un carril de ascenso en carreteras

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

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

- La longitud mínima de un carril de ascenso debe corresponder a un tiempo de recorrido de aproximadamente veinte segundos (20 s) a la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}), y no ser menor de trescientos metros (300 m).
- Como mínimo, el carril debe tener tres metros (3.0 m) de ancho, pero preferiblemente el del carril adyacente.
- La berma, debe tener el ancho adoptado en la sección transversal de la vía.

5.9. ANDENES Y SENDEROS PEATONALES

Son de uso restringido en áreas rurales, dado su escaso número de peatones. El ancho requerido por una persona es de setenta y cinco centímetros (0.75 m) y para garantizar el cruce de las personas su ancho total debe ser mínimo de un metro con cincuenta centímetros (1.50 m). La elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre diez y veinticinco centímetros (0.10 – 0.25 m).

Los sitios donde generalmente se deben localizar los andenes son zonas escolares, áreas de servicio, áreas de estacionamiento de buses, etc. En la Figura 5.8 se indica la disposición de los andenes en la sección transversal de una vía de dos calzadas.

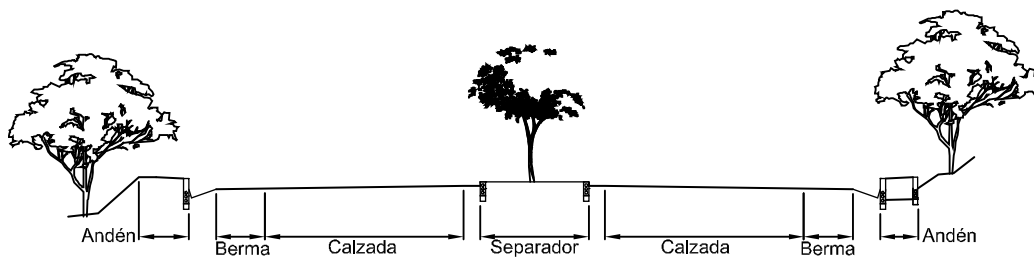


Figura 5.8. – Sección transversal de una vía con andenes

5.10. SEPARADORES DE CALZADA

Los separadores son por lo general zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido del tránsito (calzadas laterales).

El separador está comprendido entre las cunetas interiores de ambas calzadas. Aparte de su objeto principal, independizar la circulación de las calzadas, el separador central puede contribuir a disminuir cualquier tipo de interferencia como el deslumbramiento nocturno.

Cuando los separadores son muy anchos pueden resultar demasiado costosos, pero convenientes para ampliación futura de las calzadas o por razones estéticas y de circulación.

En terreno plano el separador central suele ser constante en su ancho, con lo que se mantienen paralelas las dos calzadas. En terreno montañoso, si se independizan las calzadas, el ancho del separador central es variable. Si el ancho del separador varía entre cuatro metros y diez metros (4 m -10 m), puede ser necesario instalar barreras de seguridad si el volumen de tránsito así lo demanda.

Si el ancho del separador es aún menor, puede ser necesario pavimentar toda la zona entre ambas, prolongando las bermas interiores y colocando una barrera en el centro.

Se debe dar al separador el cuidado requerido y en todos los casos descritos estudiar e implantar un apropiado sistema de desagüe superficial.

Los separadores laterales deben ser, como mínimo, de ancho menor que el separador central o mediana, a menos que sobre ellos se instalen postes de alumbrado, en cuyo caso su ancho debe ser mayor de cuatro metros (4.0 m).

5.11. LÍNEA DE CHAFLANES

La línea de chaflanes es la representación en planta, de los bordes de la explanación ó líneas que unen las estacas de chaflán consecutivas. Esta línea indica hasta dónde se extiende lateralmente el movimiento de tierras por causa de los cortes o de los terraplenes, tal como se ve en la Figura 5.9. Los cortes, como se ve en la figura, se dibujan con una convención (a veces con un color o tipo de línea) diferente de los terraplenes.

La línea de chaflanes determina la necesidad de eventuales compras adicionales de predios y la identificación preliminar de requerimientos de estructuras de contención.

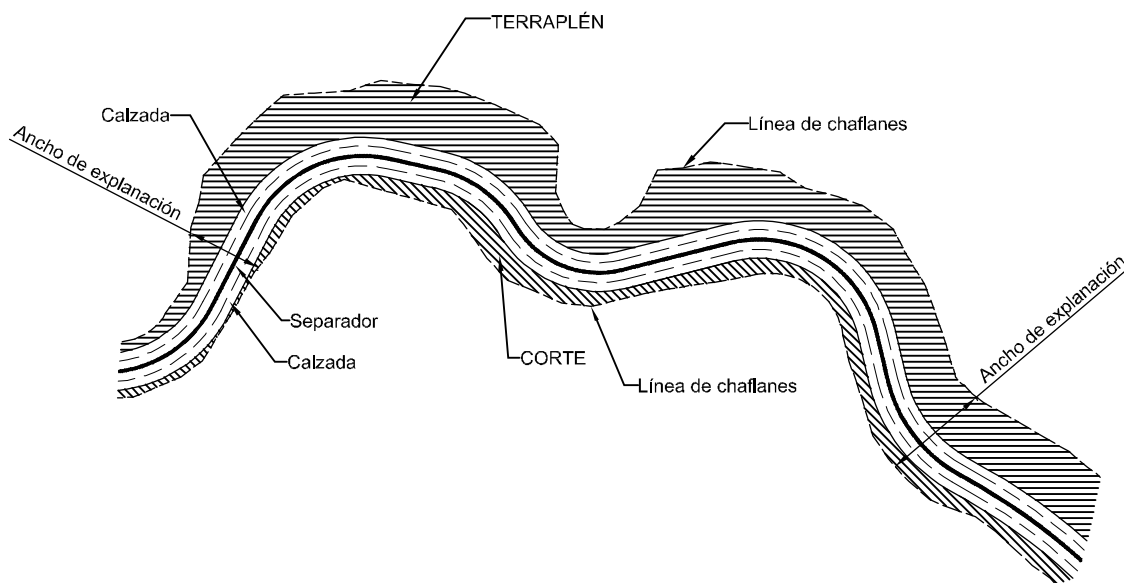


Figura 5.9. - Línea de chaflanes

CAPÍTULO 6

INTERSECCIONES A NIVEL Y DESNIVEL



CAPITULO 6. INTERSECCIONES A NIVEL Y DESNIVEL

6.1. INTRODUCCIÓN

La solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados fundamentalmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las carreteras que se cruzan y a las condiciones de su flujo vehicular. Como generalmente existen varias soluciones, los ingenieros deben proponer alternativas para ser evaluadas y con sus resultados seleccionar la más conveniente.

En el presente Manual no se restringen los tipos de solución para una intersección dada. Los ingenieros, con su creatividad y buen juicio, podrán proponer las alternativas que consideren adecuadas para las condiciones particulares del proyecto.

Solo con el propósito de presentar en forma ordenada los criterios geométricos básicos requeridos para el diseño de los diferentes elementos que integran una intersección, como son las isletas, carriles de aceleración, desaceleración y giro a la izquierda, entrecruzamiento, ramales, etc., se ofrecen algunos diseños típicos frecuentes en carreteras.

6.2. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN VIAL

El enfoque general recomendado para atender el diseño geométrico de una intersección presenta una serie de actividades secuenciales, así:

- Estudio de tránsito de la intersección y análisis de la situación existente, utilizando, si se requieren, programas de computador apropiados.
- Formulación de alternativas de funcionamiento.
- Selección de la alternativa más conveniente.
- Diseño definitivo de la solución adoptada.

6.2.1. Criterios generales

Con la finalidad de obtener el diseño más conveniente, se presentan los siguientes criterios generales, destacando que se debe optar por la solución más sencilla y comprensible para los usuarios.

- **Priorización de los movimientos.** Los movimientos más importantes deben tener preferencia sobre los secundarios. Esto obliga a limitar los movimientos secundarios con señales adecuadas, reducción de ancho de vía e introducción de curvas de Radio pequeño. Eventualmente, convendría eliminarlos totalmente.
- **Consistencia con los volúmenes de tránsito.** La mejor solución para una intersección vial es la más consistente entre el tamaño de la alternativa propuesta y la magnitud de los volúmenes de tránsito que circularán por cada uno de los elementos del complejo vial.
- **Sencillez y claridad.** Las intersecciones que se prestan a que los conductores duden son inconvenientes; la canalización no debe ser excesivamente complicada ni obligar a los vehículos a movimientos molestos o recorridos demasiado largos.
- **Separación de los movimientos.** A partir de los resultados de ingeniería de tránsito, según los flujos de diseño determinados para cada caso, puede ser necesario dotar algunos movimientos con vías de sentido único, completándola con carriles de aceleración o desaceleración si fuera necesario. Las isletas que se dispongan con este objeto permiten la colocación de las señales adecuadas. Las grandes superficies pavimentadas invitan a los vehículos y peatones a movimientos erráticos, que promueven accidentes y disminuyen la capacidad de la intersección.
- **Visibilidad.** La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso llegando a la detención total. Entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto debe existir, como mínimo, la distancia de parada.
- **Perpendicularidad de las trayectorias.** Las intersecciones en ángulo recto son las que proporcionan las mínimas áreas de conflicto. Además, disminuyen los posibles choques y facilitan las maniobras, puesto que permiten a los conductores que cruzan juzgar en condiciones más favorables las posiciones relativas de los demás.
- **Previsión.** En general, las intersecciones exigen superficies amplias. Esta circunstancia se debe tener en cuenta al autorizar construcciones o instalaciones al margen de la carretera.

6.2.2. Dimensionamiento preliminar de las alternativas

Para formular cada una de las alternativas de solución propuestas se recomienda atender las siguientes actividades:

- Estudio de volúmenes de tránsito, cuyo propósito es estimar los volúmenes de tránsito futuros. Si la importancia de la intersección lo requiere se debe

soportar el estudio de demanda con la aplicación de un Modelo de Transporte apropiado. Los volúmenes de diseño deben corresponder a los volúmenes máximos horarios.

- Dependiendo de las categorías de las vías que se cruzan, del espaciamiento entre intersecciones, de la magnitud de los volúmenes de tránsito y de las condiciones topográficas se seleccionan los tipos de intersecciones más convenientes, que corresponden a las alternativas de solución.
- Las dimensiones preliminares de los diferentes elementos de la intersección se determinan utilizando criterios generales de capacidad por carril según tipo de carretera, longitudes mínimas de entrecruzamiento, número de carriles requeridos en las zonas de entrecruzamiento, balance de carriles, necesidad o no de carriles de cambio de velocidad y espaciamiento entre entradas y salidas.
- Aplicación de una metodología que permita calificar las alternativas y seleccionar entre ellas la más conveniente.

6.2.3. Diseño definitivo de la intersección

Una vez seleccionada la alternativa más conveniente se deben aplicar criterios específicos para diseñar cada uno de los elementos de la intersección. Para llevar a cabo el diseño definitivo se debe atender a las siguientes consideraciones:

- Los volúmenes de tránsito de diseño se deben proyectar a diez y veinte años (10 y 20) y corresponder a los períodos horarios de máxima demanda.
- Los análisis operacionales, capacidad, nivel de servicio, área de entrecruzamiento, etc., se deben realizar preferiblemente con los criterios consignados en el Manual de Capacidad de Estados Unidos de América (HCM).
- En el numeral siguiente, y sin pretender cubrir la totalidad de modelos de intersecciones, se fijan criterios específicos de diseño de la mayoría de los elementos geométricos contemplados en las situaciones presentadas.

6.3. ESQUEMAS DE INTERSECCIONES FRECUENTES EN CARRETERAS Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

6.3.1. Intersecciones a nivel

6.3.1.1. Sin canalizar

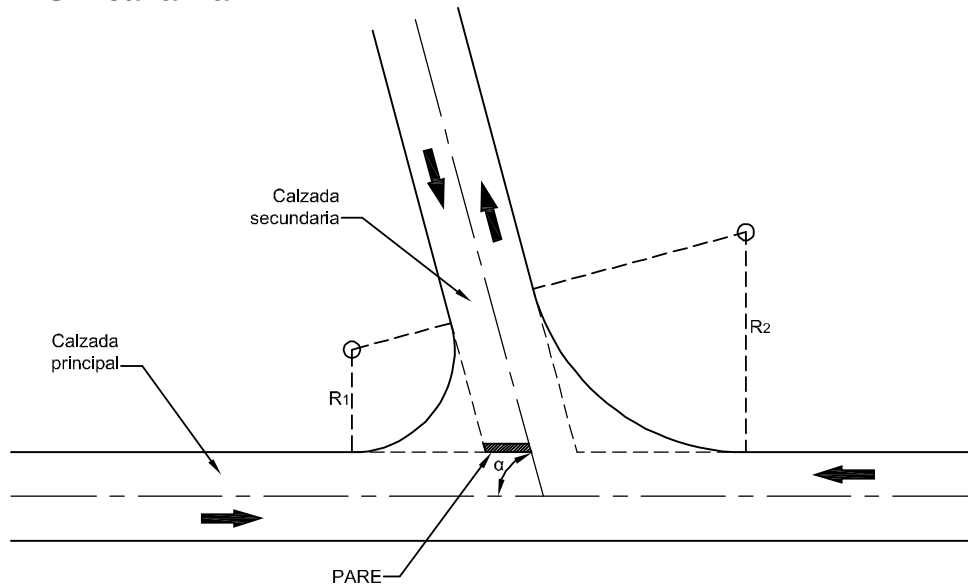


Figura 6.1. – Esquema base intersección en “T” o “Y”

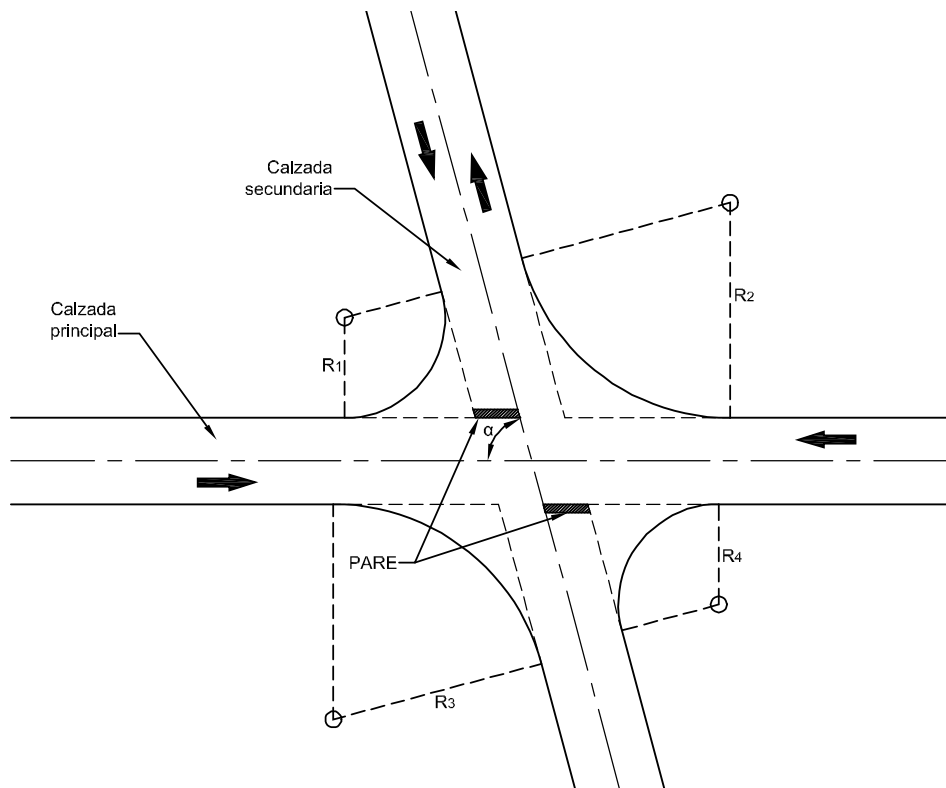


Figura 6.2. – Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X”

- Criterios básicos de diseño:

- 1) El ángulo de entrada (α) debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
- 2) El Radio mínimo de las curvas R_1 , R_2 , R_3 y R_4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.
- 3) La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyan debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4) Salvo que la intersección se encuentre en terreno plano, se debe diseñar en la calzada secundaria una curva vertical cuyo PTV coincida con el borde de la calzada principal y de longitud superior a treinta metros (30 m).
- 5) La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (D_C).

6.3.1.2. Canalizadas

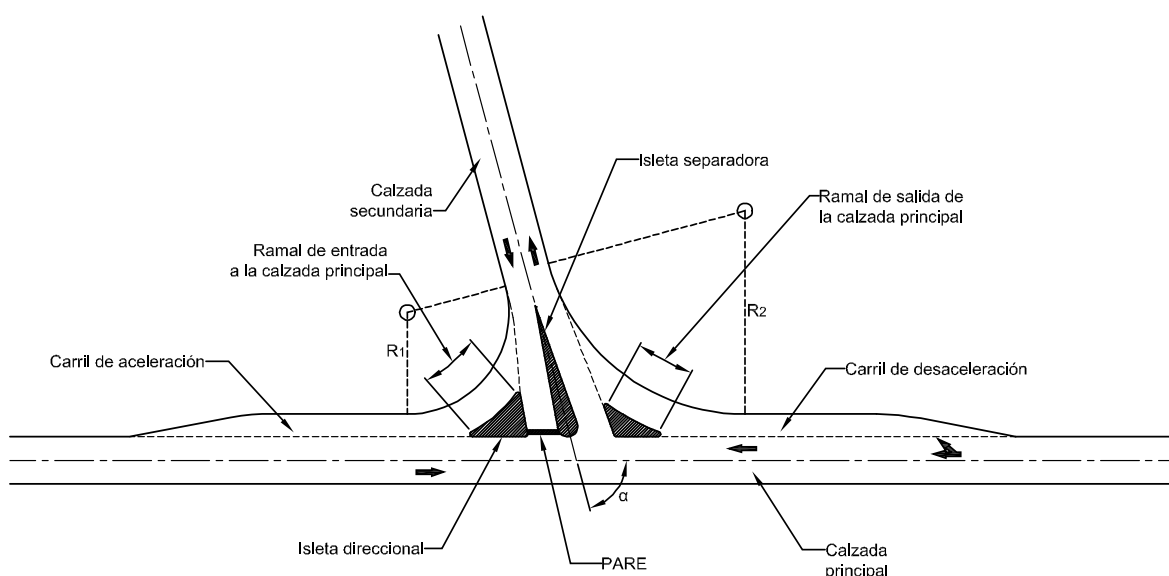


Figura 6.3. – Esquema base intersección en “T” o “Y”

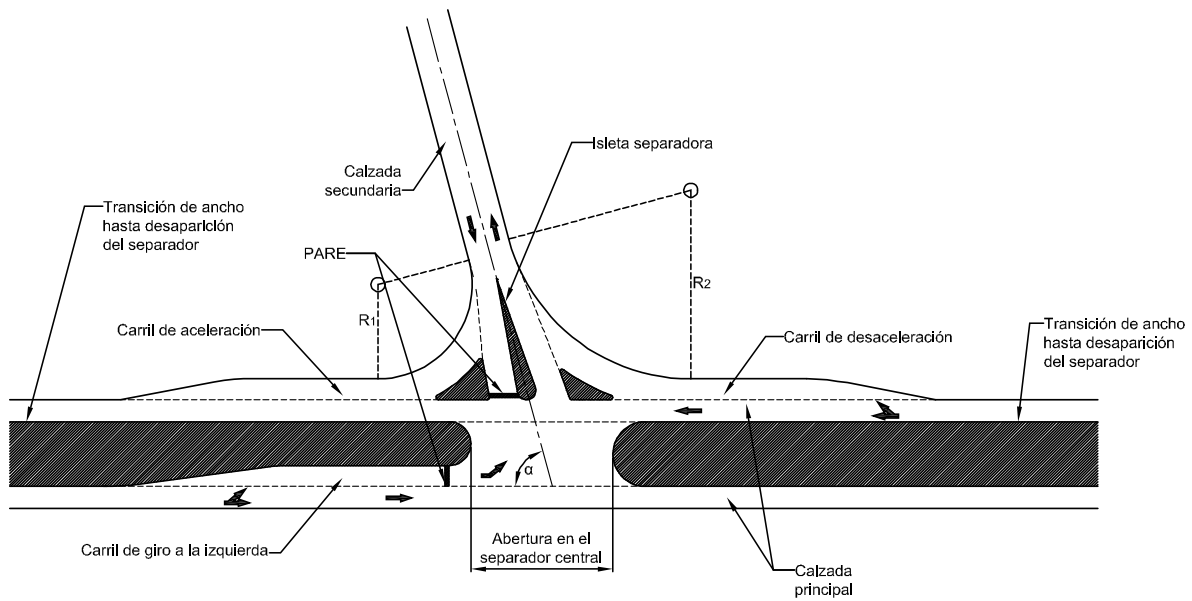


Figura 6.4. – Esquema base intersección a nivel en “T” o “Y” con separador y carril de giro a la izquierda

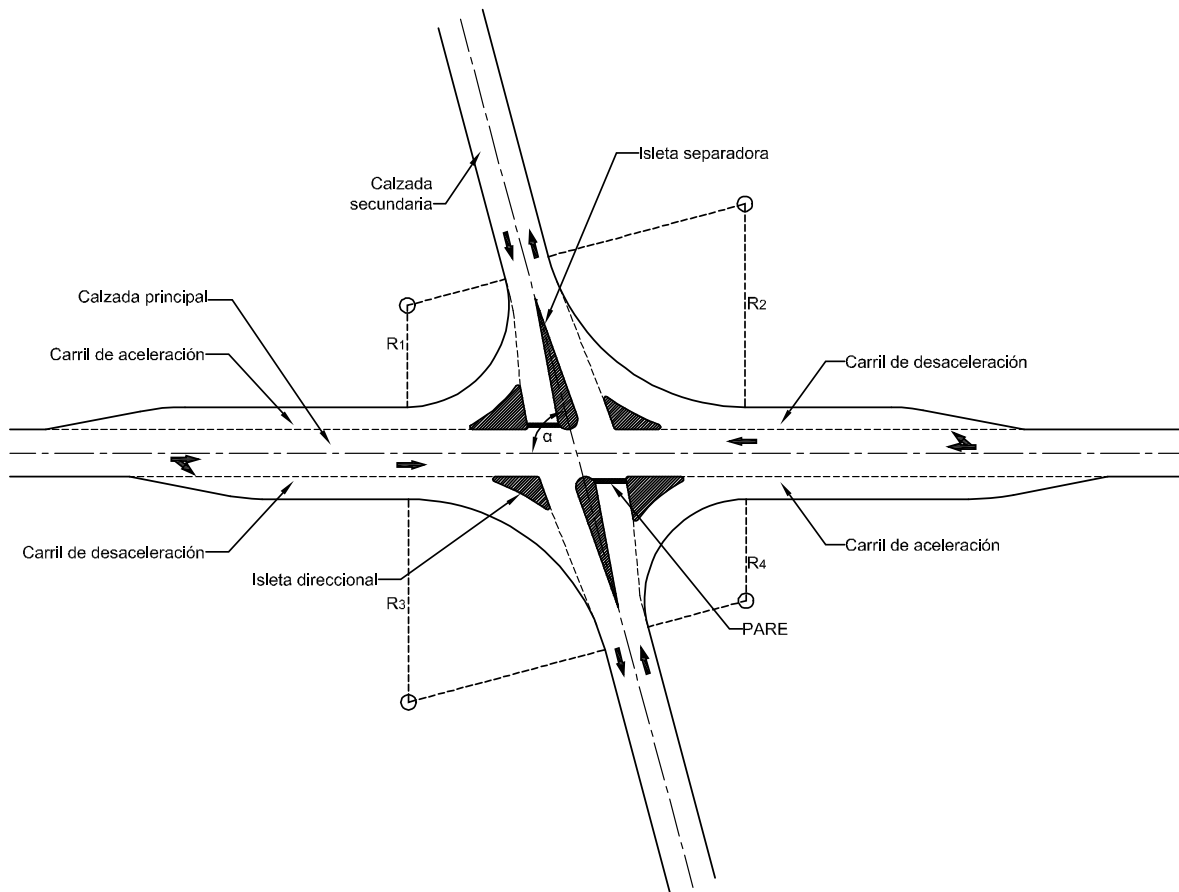


Figura 6.5. – Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X”

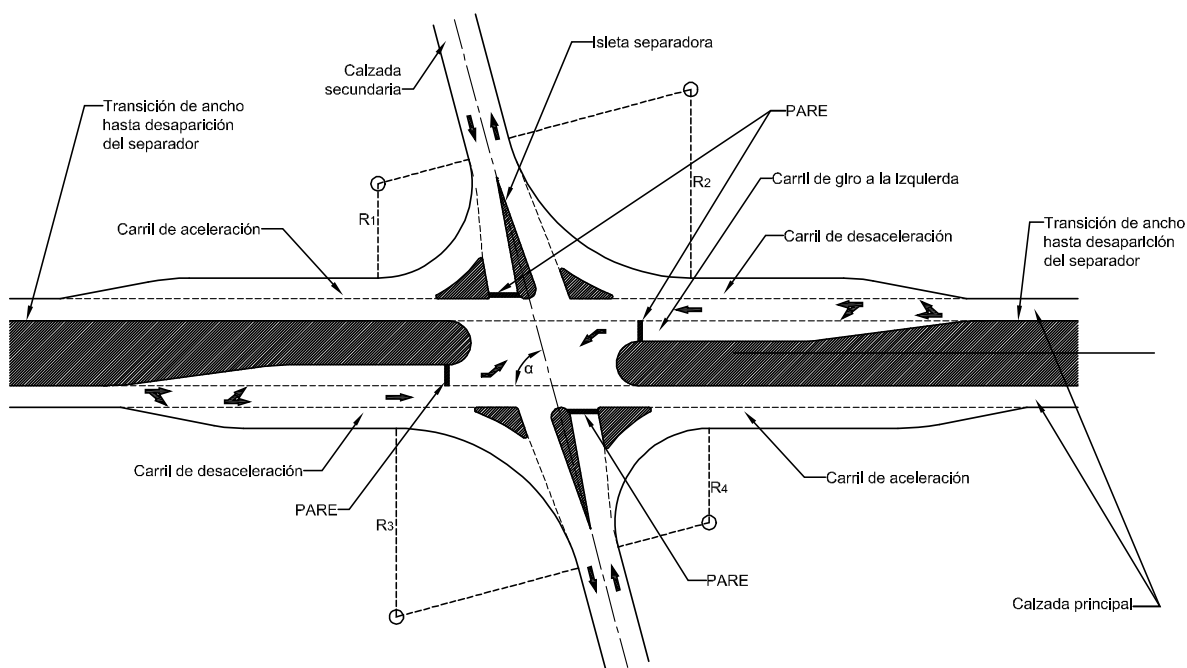


Figura 6.6. – Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X” con separador y carril de giro a la izquierda

- Criterios básicos de diseño:

- 1) El ángulo de entrada (α) debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$).
- 2) El Radio mínimo de las curvas R_1 , R_2 , R_3 y R_4 debe corresponder al Radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado.
- 3) La pendiente longitudinal de las calzadas que confluyan debe ser, en lo posible, menor de cuatro por ciento (4.0 %) para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal.
- 4) Salvo que la intersección se encuentre en terreno plano, se debe diseñar en la calzada secundaria una curva vertical cuyo PTV coincida con el borde de la calzada principal y de longitud superior a treinta metros (30 m).
- 5) La intersección debe satisfacer la Distancia de visibilidad de cruce (D_C).
- 6) Diseño de carriles de cambio de velocidad

- Definición

Antes de entrar en un ramal de salida (o de enlace en el caso de intersecciones a desnivel), normalmente los vehículos tienen que frenar, así como acelerar al salir de un ramal de entrada (o de enlace en el caso de intersecciones a

desnivel), ya que su velocidad es inferior a la de la vía principal. Para que estos cambios de velocidad no generen fuertes perturbaciones al tránsito, máxime cuando los volúmenes sean altos, se deben habilitar carriles especiales, que permitan a los vehículos hacer sus cambios de velocidad fuera de la calzada.

- Carriles de aceleración

Se diseña un carril de aceleración para que los vehículos que deben incorporarse a la calzada principal puedan hacerlo con una velocidad similar a la de los vehículos que circulan por ésta. Los carriles de aceleración deben ser paralelos a la calzada principal.

En la Figura 6.7 se presenta el esquema de un carril de aceleración

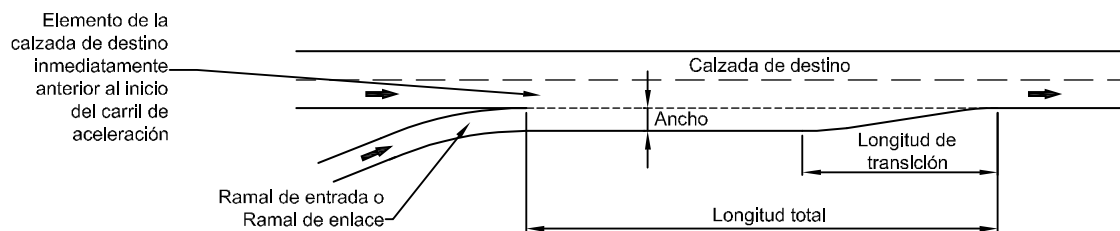


Figura 6.7. – Esquema de un carril de aceleración

Para los efectos del presente Manual, si se trata de una intersección canalizada a nivel se denomina “Ramal de entrada a la calzada Principal”, y si se trata de una intersección a desnivel se denomina “Ramal de enlace”.

Para el dimensionamiento del carril de aceleración se pueden utilizar los criterios consignados en la Tabla 6.1. En el caso de Ramales de entrada la Velocidad Específica del ramal la podrá asumir el diseñador a buen criterio. En el caso de la Velocidad Específica de un Ramal de enlace (V_{RE}), los criterios para su adopción se presentan en el numeral correspondiente a intersecciones a desnivel

El ancho de un carril de aceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

- Carriles de desaceleración

Tienen por objeto permitir que los vehículos que vayan a ingresar en un ramal de salida o en un ramal de enlace puedan reducir su velocidad hasta alcanzar la de la calzada secundaria o la del ramal de enlace. Su utilidad es tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de velocidades.

- Tipo directo. Está constituido por un carril recto (o curvo de gran radio), que forma en el borde de la calzada principal un ángulo muy pequeño (β) (dos a cinco grados (2° a 5°)) y empalma con el ramal de salida o enlace.

- Tipo paralelo. Es un carril adicional que se añade a la vía principal, con una zona de transición de anchura variable.

En la Figura 6.8 se presentan esquemas de carriles de desaceleración.

Tabla 6.1
Longitud mínima del carril de aceleración

VÍA PRIMARIA (CALZADA DE DESTINO)								
Velocidad específica del ramal de entrada ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de destino inmediatamente anterior al inicio del carril de aceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de aceleración, incluyendo la transición (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
VÍA SECUNDARIA (CALZADA DE DESTINO)								
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	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

⁽¹⁾ Ramal de entrada en el caso de intersecciones canalizadas a nivel.

⁽²⁾ Ramal de enlace en el caso de intersecciones a desnivel (V_{RE})

Para los efectos del presente Manual, si se trata de una intersección canalizada a nivel se denomina “Ramal de salida de la calzada principal” y si se trata de una intersección a desnivel se denomina “Ramal de enlace”.

En la Tabla 6.2 se indica la longitud mínima de los carriles de desaceleración independientemente de su tipo y categoría de la carretera en la que empalman. En el caso del Ramal de salida la Velocidad Específica del ramal la podrá asumir el diseñador a buen criterio. En el caso de la Velocidad Específica del Ramal de enlace (V_{RE}), los criterios para su adopción se presentan en el numeral correspondiente a intersecciones a desnivel.

El ancho de un carril de desaceleración debe corresponder al del carril adyacente, pero no menor de tres metros con treinta centímetros (3.30 m).

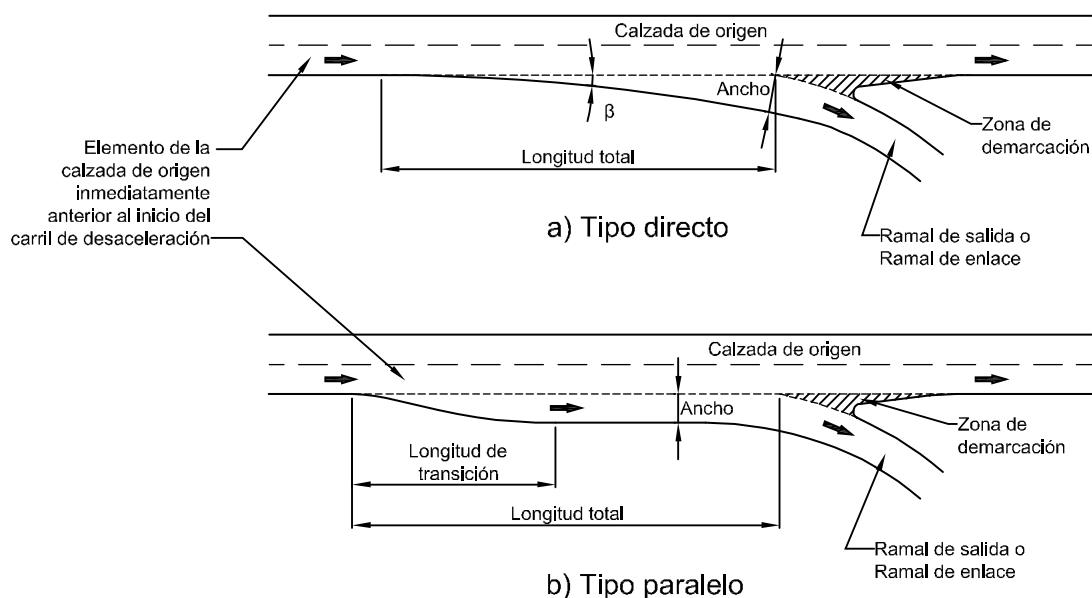


Figura 6.8. – Esquemas de carriles de desaceleración

Tabla 6.2.
Longitud mínima de un carril de desaceleración

Velocidad específica del ramal de salida ⁽¹⁾ o de enlace ⁽²⁾ (km/h)		PARE	25	30	40	50	60	80
Velocidad Específica del elemento de la calzada de origen inmediatamente anterior al inicio del carril de desaceleración (km/h)	Longitud de la transición (m)	Longitud total del carril de desaceleración, incluyendo la transición (m)						
50	45	70	50	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

⁽¹⁾ Ramal de salida en el caso de intersecciones canalizadas a nivel.

⁽²⁾ Ramal de enlace en el caso de intersecciones a desnivel (V_{RE})

7) Isletas

- Definición

Las isletas son elementos básicos para el manejo y separación de conflictos y áreas de maniobras en las intersecciones. Las isletas son zonas definidas situadas entre carriles de circulación, cuyo objeto es guiar el movimiento de los vehículos, servir de refugio a los peatones y proporcionar una zona para la ubicación de la señalización y la iluminación. Las isletas pueden estar físicamente separadas de los carriles o estar pintadas en el pavimento.

- Tipos

- **Direccionales.** Se muestran en la Figura 6.9. Son de forma triangular, sirven de guía al conductor a lo largo de la intersección indicándole la ruta por seguir.

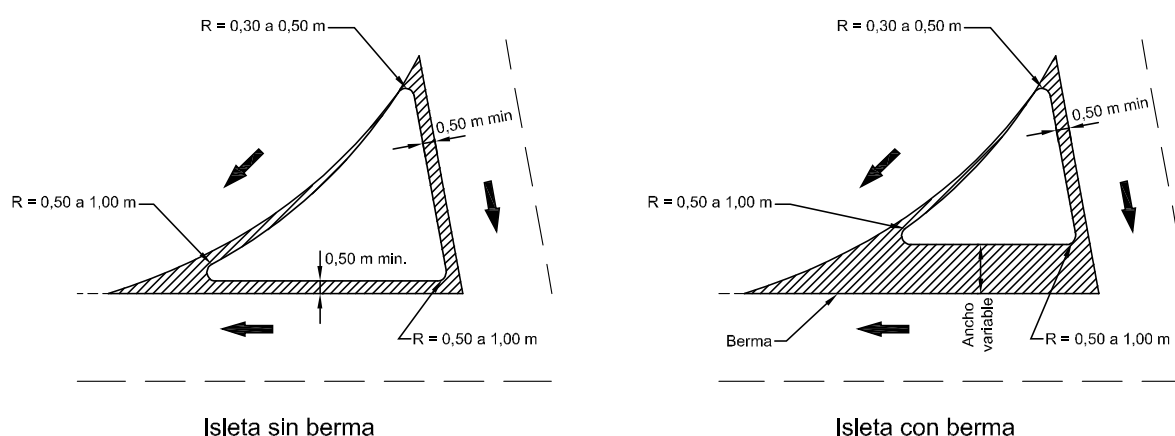


Figura 6.9. – Isletas direccionales

- **Separadoras.** Tienen forma de lágrima y se usan principalmente en las cercanías de las intersecciones, en carreteras no divididas. El esquema se muestra en la Figura 6.10.
- **Criterios de diseño**

Las isletas direccionales deben ser lo suficientemente grandes para llamar la atención de los conductores. Deben tener una superficie mínima de cuatro con cinco metros cuadrados (4.5 m^2) preferiblemente siete metros cuadrados (7.0 m^2). A su vez, los triángulos deben tener un lado mínimo de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m) y preferiblemente de tres metros con sesenta centímetros (3.60 m).

Las isletas separadoras deben tener una longitud mínima de treinta metros (30 m) y preferiblemente de cien metros (100 m) o más, sobre todo cuando sirven a su vez para la introducción de un carril de giro. Si no pudieran tener la longitud recomendada deben ir precedidas de un pavimento rugoso notorio, resaltos sobre la calzada o, al menos, de marcas bien conservadas sobre el pavimento. Cuando coincidan con un punto alto del trazado en perfil o del comienzo de una curva horizontal, la isleta se debe prolongar lo necesario para hacerla claramente visible a los conductores que se aproximan.

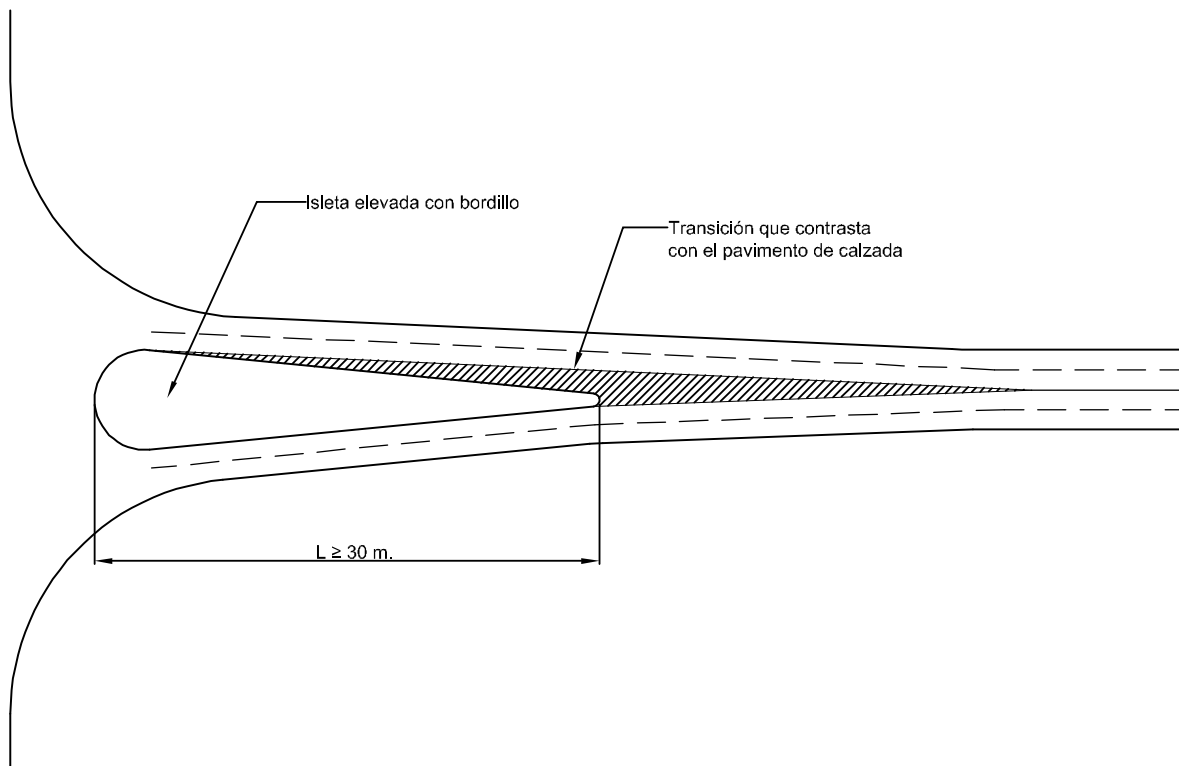


Figura 6.10. – Isletas separadoras

8) Ramal de salida o ramal de entrada

- Ancho de calzada. Se debe cumplir con las dimensiones ilustradas en la Figura 6.11 y consignadas en la Tabla 6.3.
- Peralte. Su valor debe estar entre dos y cuatro por ciento (2% - 4%) de acuerdo con el bombeo de las calzadas enlazadas.

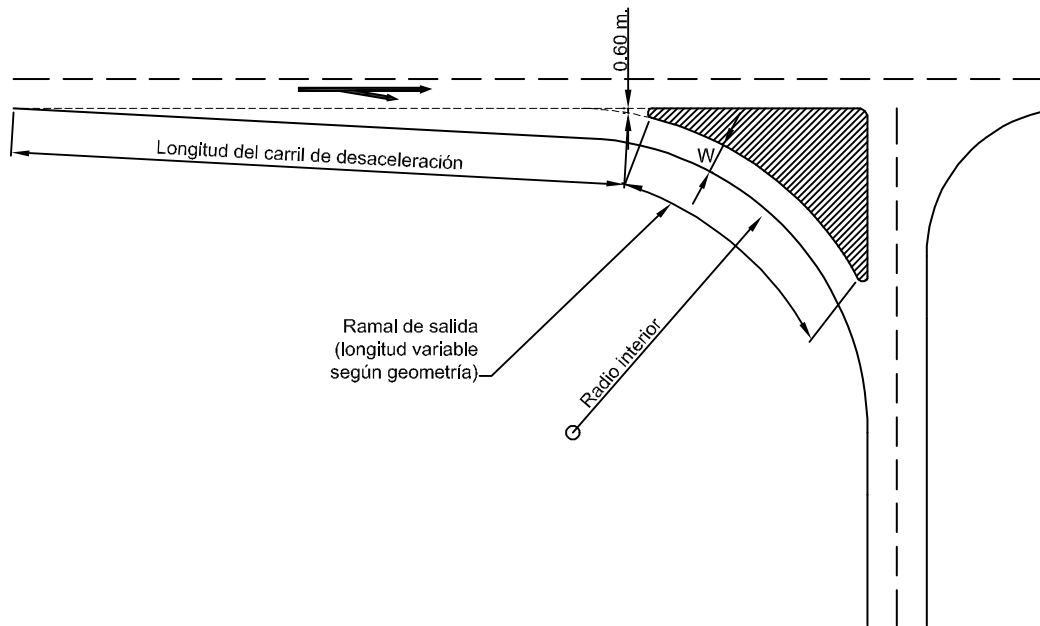


Figura 6.11. – Ancho del ramal de salida o de entrada

Tabla 6.3.

Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada enlace en función del Radio interior

RADIO INTERIOR (m)	ANCHO DE UN CARRIL SENCILLO, W (m)	ANCHO DE CALZADA CON UN ÚNICO CARRIL CON ESPACIO PARA SOBREPASAR UN VEHÍCULO ESTACIONADO, W (m)
15	6,20	9,50
20	5,70	8,90
25	5,30	8,40
30	5,00	8,00
40	4,60	7,40
50	4,50	7,00
75	4,50	6,50
100	4,50	6,20
150	4,50	6,10
Derecho	4,50	6,00

9) Carril de giro a la izquierda

Sus dimensiones se ilustran en la Figura 6.12 y en la Tabla 6.4.

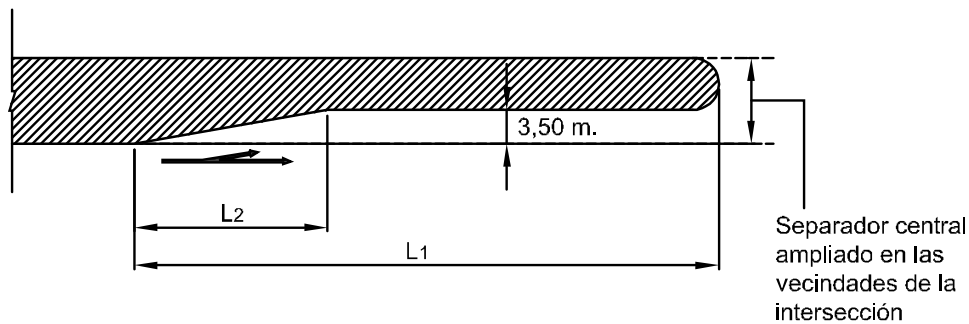


Figura 6.12 – Esquema carril de giro a la izquierda

Tabla 6.4
Carril de giro a la izquierda

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA ADYACENTE AL CARRIL DE GIRO A LA IZQUIERDA (km/h)	L_1 (m)	L_2 (m)
50	80	30
60	100	30
80	125	45
100	155	45

10) Abertura del separador central

Ya sea que se trate de una intersección en “T” o en “+”, la abertura del separador debe ser por lo menos igual al ancho de la calzada que cruza (pavimento más bermas) y en ningún caso menor de doce metros (12 m) de ancho. Si la calzada que cruza no tiene bermas la abertura del separador será igual al ancho del pavimento más dos metros con cincuenta centímetros (2.50 m).

Las dimensiones para la abertura del separador central se ilustran en la Figura 6.13.

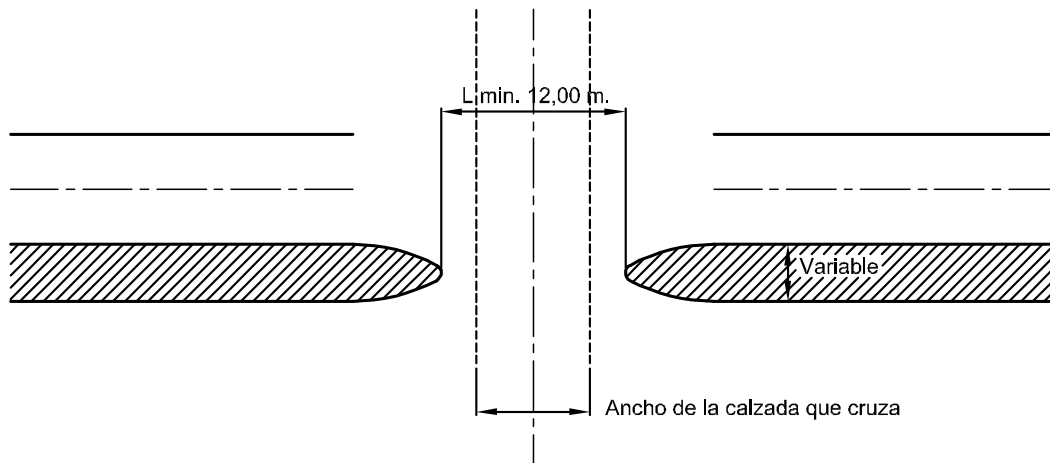


Figura 6.13. - Abertura del separador central

6.3.1.3. Glorietas

En la Figura 6.14 se presenta el esquema básico de una glorieta. Esta solución se caracteriza por que los accesos que a ella confluyen se comunican mediante un anillo en el cual la circulación se efectúa alrededor de una isleta central.

- Criterios básicos de diseño:

1) Estudios de Ingeniería de Tránsito

Para el diseño de esta solución se requiere la elaboración previa de los estudios de Ingeniería de Tránsito, de conformidad con la metodología sugerida en el numeral 6.3.2 Intersecciones a desnivel.

En lo pertinente a la capacidad de la glorieta y específicamente en el dimensionamiento de las secciones de entrecruzamiento se puede atender al siguiente procedimiento:

- Se propone una longitud de la sección de entrecruzamiento compatible con la geometría de la solución.
- Se determina la capacidad de cada sección de entrecruzamiento propuesta.
- Se compara dicha capacidad con el volumen de demanda de entrecruzamiento.

Para el cálculo de la capacidad de la sección de entrecruzamiento, Q_p , se utiliza la expresión propuesta por Wardrop:

$$Q_p = [160 W (1 + e / W)] / (1 + w / L)$$

$$e = (e_1 + e_2) / 2$$

- Donde:
- Q_p : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto, en vehículos / hora.
 - W : Ancho de la sección de entrecruzamiento, en metros.
 - e : Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, en metros.
 - e_1, e_2 : Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, en metros.
 - L : Longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros.

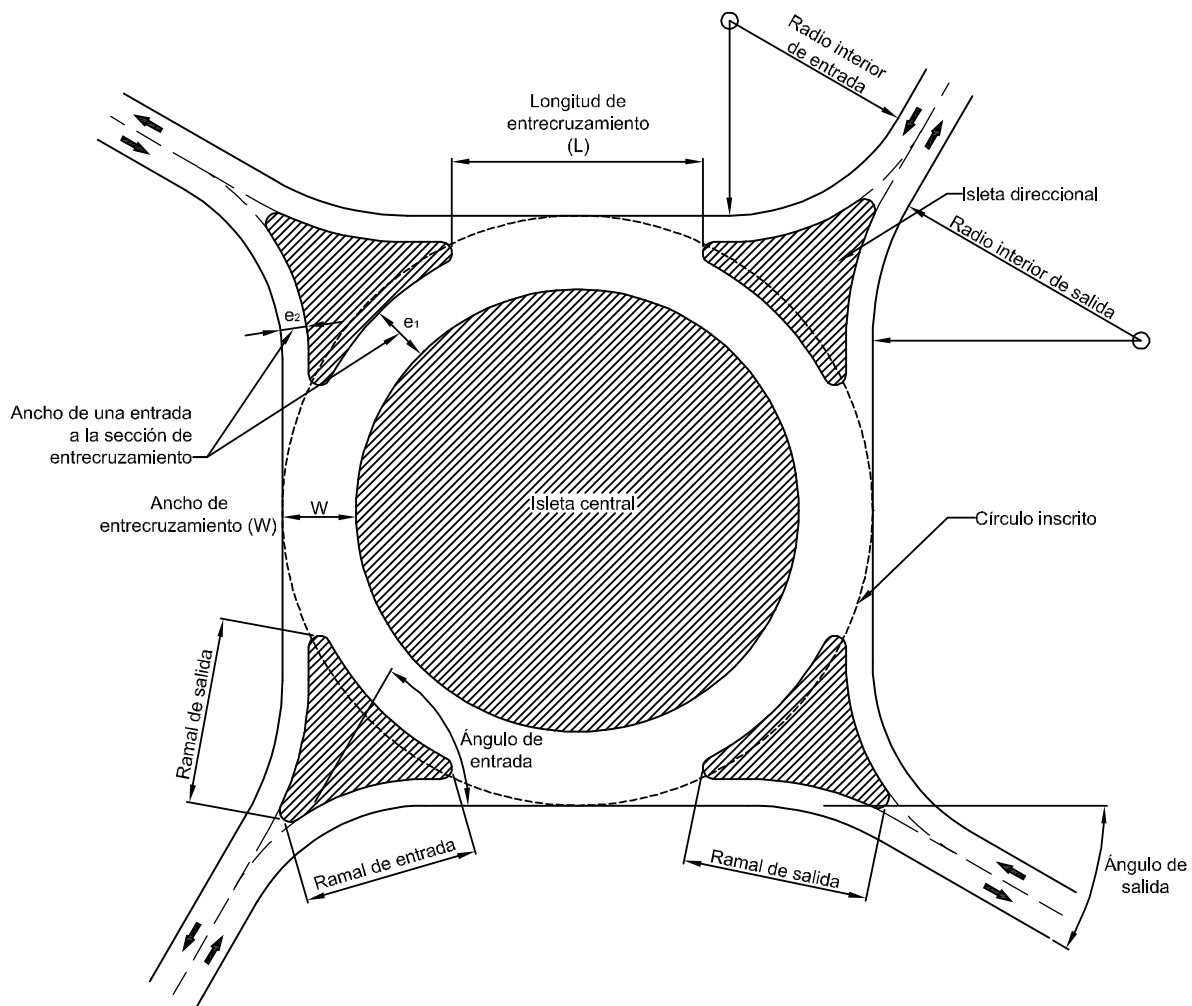


Figura 6.14. – Esquema básico de una intersección tipo Glorieta

2) Criterios geométricos

En la Tabla 6.5 se presentan los criterios de diseño geométrico aplicables a las glorietas.

Tabla 6.5.
Criterios de diseño de glorietas

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	MAGNITUD
Diámetro mínimo de la isleta central		m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito		m	50
Relación W/L (sección de entrecruzamiento)			Entre 0,25 y 0,40
Ancho sección de entrecruzamiento (W)		m	Máximo 15
Radio interior mínimo en los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40
Ángulo ideal de entrada			60°
Ángulo ideal de salida			30°

3) Isletas direccionales

El dimensionamiento de las isletas direccionales será consecuencia de la geometría general de la solución. Sin embargo se debe respetar el área mínima indicada para ellas en el numeral 6.3.1.2 Intersecciones a nivel canalizadas.

4) Ramales de entrada y salida

Se aplican los criterios consignados en la Tabla 6.3. Ancho de calzada en ramales de salida o de entrada en función del Radio interior. En el caso de las glorietas, el Radio interior mínimo es de treinta metros (30 m), como se indica en la Tabla 6.5.

6.3.2. Intersecciones a desnivel

6.3.2.1. Esquemas básicos

En las Figuras 6.15 a 6.18 se presentan los esquemas básicos de solución a desnivel frecuentemente utilizados en carreteras.

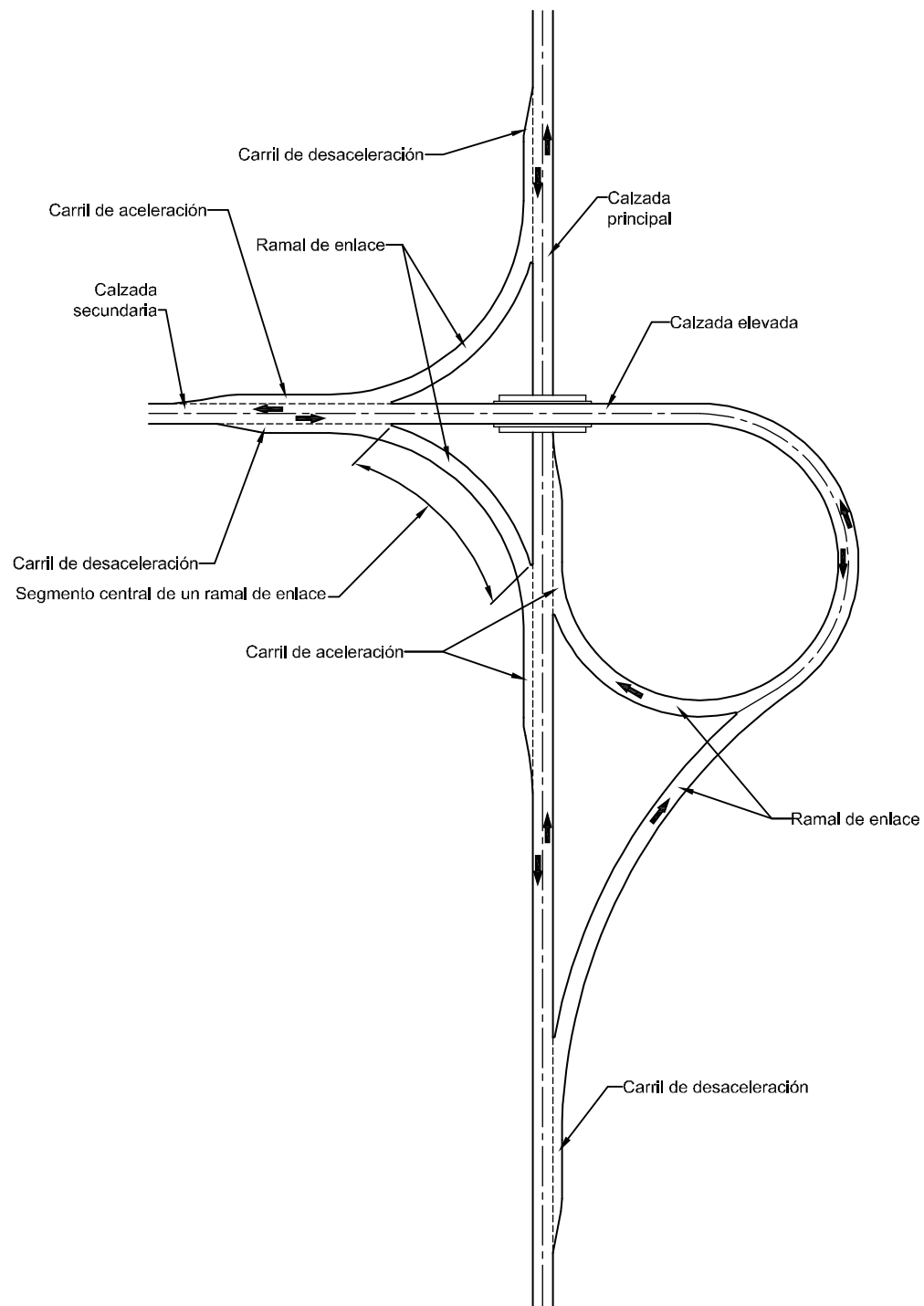


Figura 6.15. – Esquema base intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras no divididas.

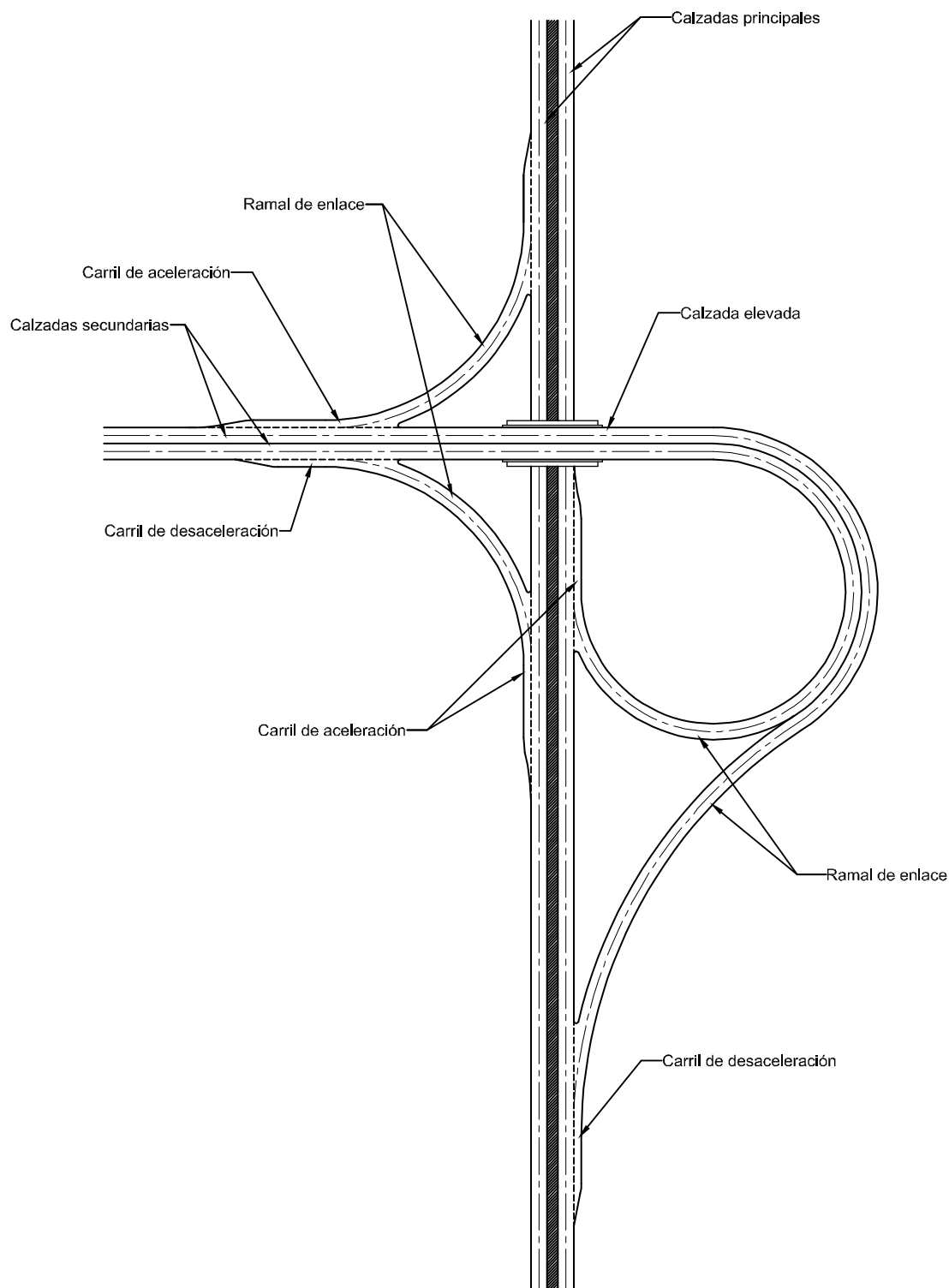


Figura 6.16. – Esquema base intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras divididas.

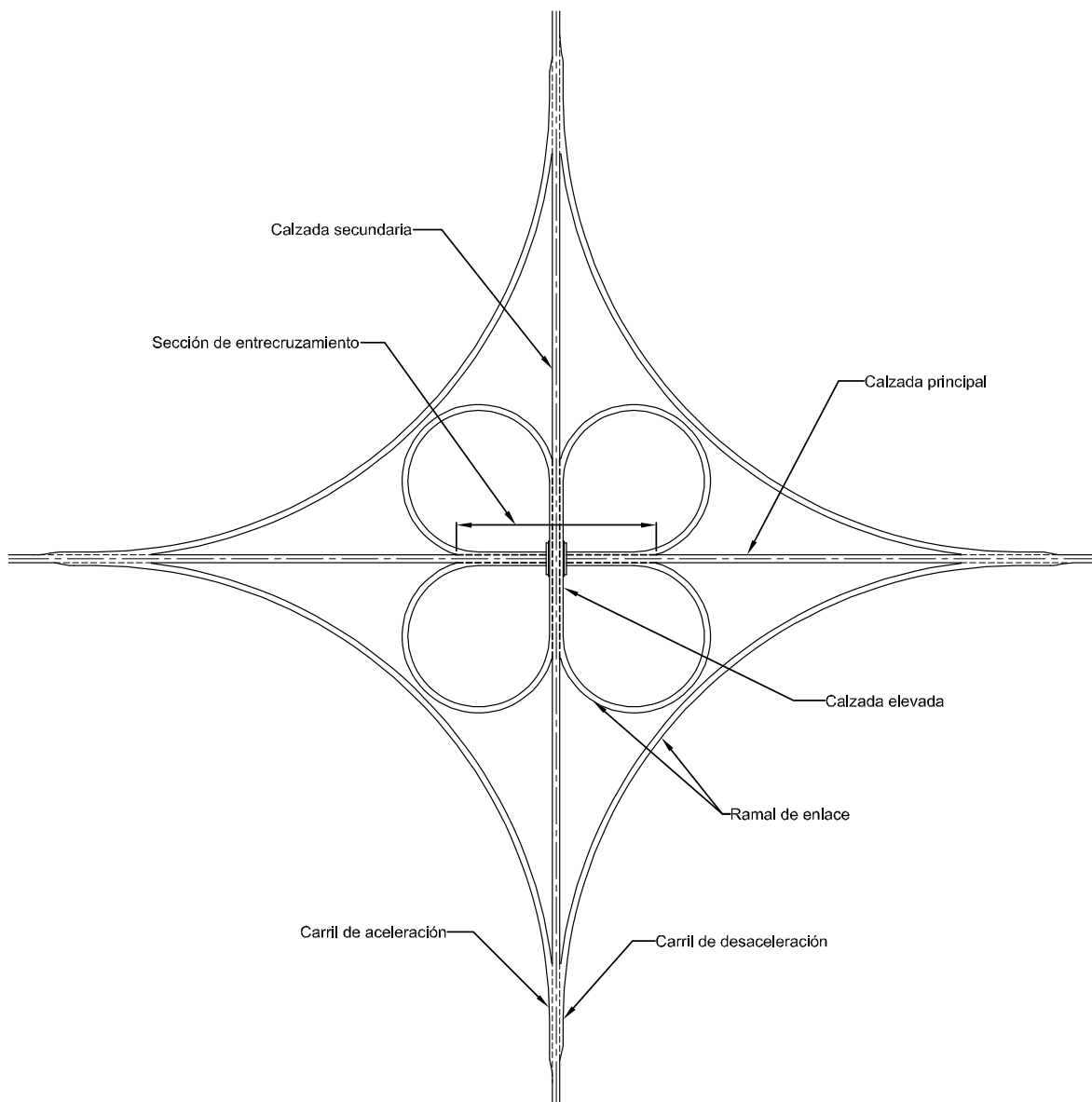


Figura 6.17. – Esquema base intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras no divididas.

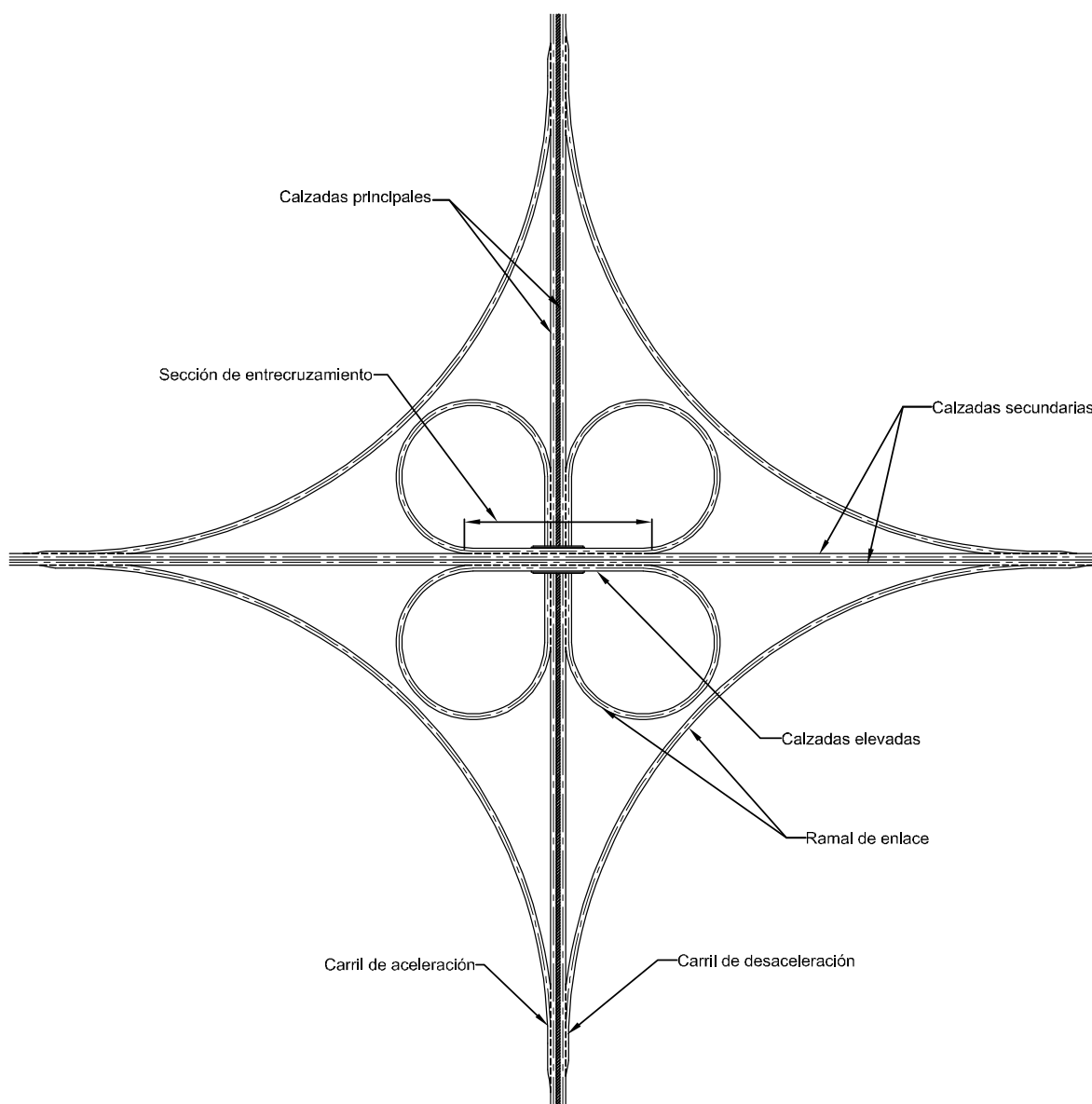


Figura 6.18. – Esquema base intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras divididas.

6.3.2.2. Criterios básicos de diseño

Para el diseño geométrico de una intersección a desnivel se debe partir de los resultados del estudio de Ingeniería de Tránsito. Dicho estudio debe establecer los siguientes parámetros:

- Diagrama de flujos vehiculares incluyendo su intensidad, composición vehicular y automóviles directos equivalentes (a.d.e.).
- Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD).
- Proyecciones al año meta.
- Análisis de capacidad.
- Predimensionamiento de cada alternativa propuesta.

Los criterios para el diseño geométrico de los elementos de la intersección son los siguientes:

- 1) Carriles de cambio de velocidad. Aplican los criterios indicados en el numeral 6.3.1.2. Intersecciones canalizadas.
- 2) Segmento central de un ramal de enlace. Para el diseño del segmento central se debe establecer la Velocidad Específica del segmento central del ramal de enlace (V_{RE}).

Esta velocidad está en función de la Velocidad Específica del elemento geométrico inmediatamente anterior al inicio del carril de desaceleración. Esta velocidad se denomina Velocidad Específica de la Calzada de Origen. Además, está en función de la Velocidad Específica del elemento geométrico inmediatamente siguiente a la terminación del carril de aceleración. Esta velocidad se denomina Velocidad Específica de la Calzada de Destino. En la Tabla 6.6 se indica la Velocidad Específica en el segmento central del ramal de enlace (V_{RE}) cuando la deflexión total del enlace es inferior a ciento ochenta grados (180°), y en la Tabla 6.7 cuando la deflexión del enlace es mayor o igual a 180° (ver Figura 6.19.).

Con el valor de la V_{RE} se debe diseñar el segmento central del ramal siguiendo los criterios generales establecidos en el presente Manual para el diseño en planta, perfil y sección transversal. El único aspecto que es específico para el segmento central del ramal de enlace es el ancho del carril en el evento en que éste sea único. En tal caso su ancho debe ser cinco metros (5.0 m).

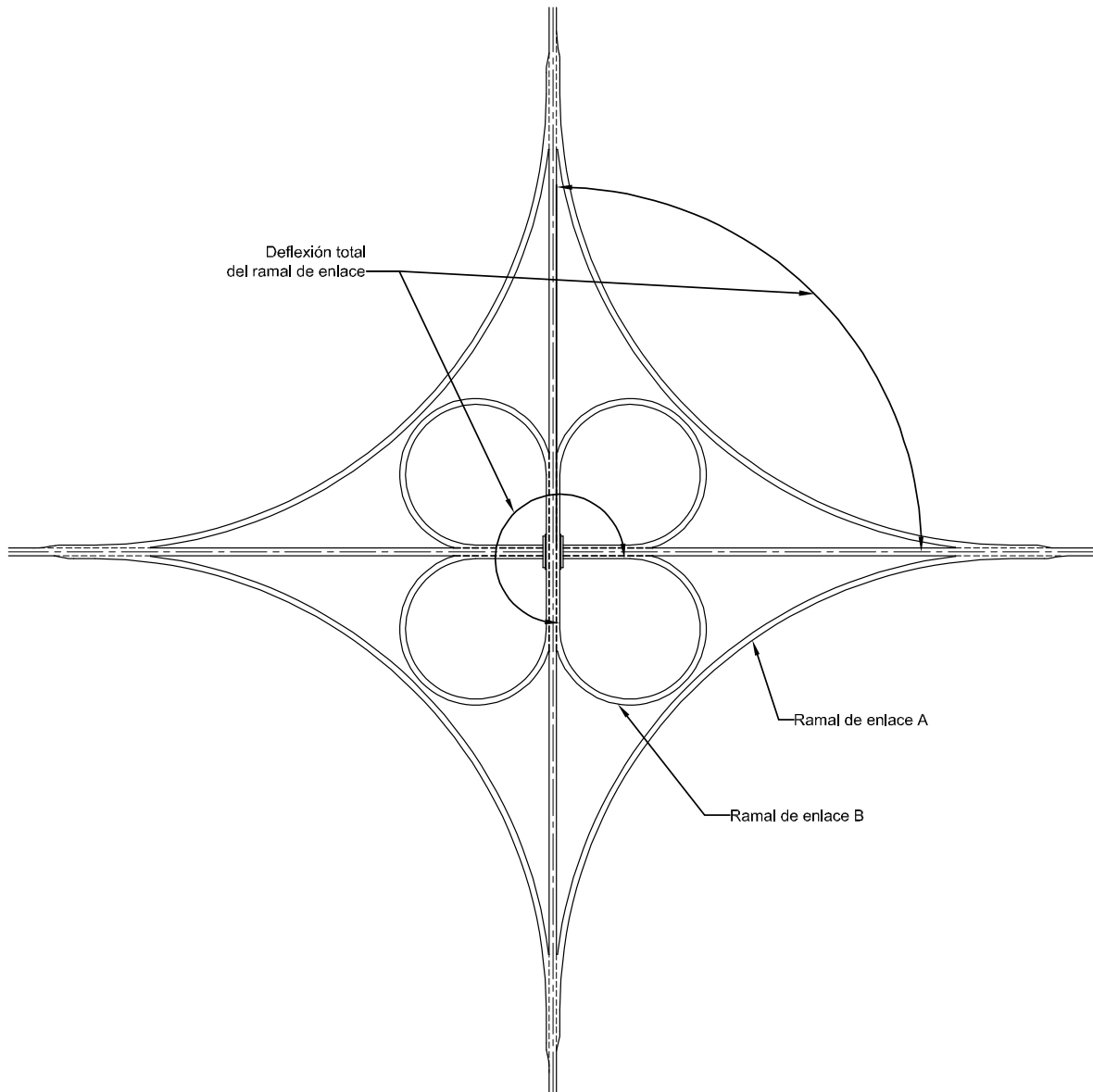


Figura 6.19. – Deflexión total de un ramal de enlace

Tabla 6.6.
Velocidad Específica del segmento central del ramal de enlace (V_{RE}) cuando $\Delta < 180^\circ$ (km/h)

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA DE ORIGEN (km/h)	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA DE DESTINO (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
40	25	25	30	30	30	35	35	40	40
50	30	35	35	40	40	40	40	45	45
60	30	35	35	40	40	40	40	45	45
70	40	45	45	50	50	50	50	50	50
80	40	45	45	50	50	50	50	50	50
90	60	60	60	60	60	60	60	60	60
100	60	60	60	60	60	60	60	60	60
110	70	70	70	70	70	70	70	70	70
120	70	70	70	70	70	70	70	70	70

Tabla 6.7.
Velocidad Específica del segmento central del ramal de enlace (V_{RE}) cuando $\Delta \geq 180^\circ$ (km/h)

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA DE ORIGEN (km/h)	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CALZADA DE DESTINO (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
40	25	25	25	25	25	30	30	30	30
50	30	30	30	30	30	35	35	35	35
60	30	30	30	30	30	35	35	35	35
70	35	35	35	35	35	35	35	35	35
80	35	35	35	35	35	35	35	35	35
90	40	40	40	40	40	40	40	40	40
100	40	40	40	40	40	40	40	40	40
110	50	50	50	50	50	50	50	50	50
120	50	50	50	50	50	50	50	50	50

3) Sección de entrecruzamiento

Para el diseño de la sección de entrecruzamiento se debe atender a los siguientes criterios.

- Longitud mínima de la sección de entrecruzamiento. En la Tabla 6.8 se presentan las longitudes mínimas en función del volumen de vehículos que se entrecruzan.

Tabla 6.8.
Longitudes mínimas de entrecruzamiento

VOLUMEN DE ENTRECruzAMIENTO (ade/h)	LONGITUD MÍNIMA DE LA SECCIÓN DE ENTRECruzAMIENTO (m)
1.000	75
1.500	120
2.000	200
2.500	290
3.000	410
3.500	565

Para la conversión de tráfico mixto a automóviles directos equivalentes (ade) se pueden utilizar los factores de equivalencia propuestos por el Departamento de Transporte de la Gran Bretaña, y que se presentan en la Tabla 6.9. Tales valores se ajustan en mayor medida a las condiciones del tráfico en las carreteras colombianas que los factores propuestos por otras agencias viales a nivel internacional.

Tabla 6.9.
Factores de equivalencia vehicular

TIPO DE VEHÍCULO	AUTOMÓVILES DIRECTOS EQUIVALENTES (ade)	
	CARRETERAS ⁽¹⁾	GLORIETAS
Bicicletas	0,50	0,50
Motocicletas	1,00	0,75
Automóviles, taxis, vehículos comerciales livianos	1,00	1,00
Buses	3,00	2,80
Vehículos comerciales medianos y pesados, vehículos de tracción animal	3,00	2,80

(1) También aplican para secciones de entrecruzamiento en intersecciones a desnivel

- Número mínimo de carriles que se requiere en la sección de entrecruzamiento:

El número de carriles que se requiere en la sección de entrecruzamiento es:

$$N = (W_1 + 3 \times W_2 + F_1 + F_2) / C$$

Donde: N: Número de carriles.

W_1 : Flujo mayor que se entrecruza, en ade/h.

W_2 :	Flujo menor que se entrecruza, en ade/h.
F_1, F_2 :	Flujos exteriores que no se entrecruzan, en ade/h.
C :	Capacidad normal del carril de la vía principal, en ade/h.

Por último, se recomienda que para evaluar en forma definitiva la conveniencia técnica de la solución se lleve a cabo un análisis con un modelo de simulación de tránsito, que permita examinar el funcionamiento de la intersección en conjunto con la malla vial aledaña.

6.4. PASOS A DESNIVEL PARA PEATONES

Los hay elevados y subterráneos. En zonas periféricas y poco pobladas, con más espacio disponible, se usan más los pasos elevados, con altos estándares de estética, limpieza y economía.

En el diseño geométrico de pasos a desnivel para peatones la aplicación de los criterios de la Tabla 6.10 proporciona soluciones adecuadas.

Tabla 6.10.
Criterios de diseño geométrico de pasos a desnivel para peatones

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PASOS INFERIORES	PASOS SUPERIORES
Capacidad		3.000 peatones/hora/metro de ancho	3.000 peatones/hora/metro de ancho
Ancho	m	Mínimo 3.0. Recomendable entre 4.0 y 6.0	Mínimo 2.5
Altura	m	Mínimo 2.50	
Gálibo	m	-	Mínimo 5.0
Altura de las barandas	m	-	Mínimo 1.20

Los accesos a los pasos peatonales a desnivel pueden ser escaleras o rampas con las características que se indican en la Tabla 6.11.

En la Figura 6.20 se presenta el esquema básico de un paso peatonal.

La zona en donde se ubica el acceso debe tener un ancho mínimo de cinco metros (5.0 m), tal como se muestra en la Figura 6.20. Lo más conveniente es ubicar el acceso en el lado próximo a la calzada. Si se ubica en el centro, se debe dejar, a cada lado del acceso, un espacio peatonal de al menos dos metros (2.0 m) de ancho.

Tabla 6.11.
Características recomendables de los accesos a pasos peatonales a desnivel

DESCRIPCIÓN	ESCALERA	RAMPA
Pendiente	40 a 60 %	5 a 15 %
Ancho mínimo	1.50 m (unidireccional) 2.50 m (bidireccional)	2.50 m
Capacidad	25 a 40 peatones/metro/minuto	$C = d \times v \times (1 - i/100)$ C: Capacidad (peatones/metro/segundo) d: Densidad (peatones/m²) v: Velocidad (metros/segundo) i: Pendiente, en porcentaje (%)

Nota: Estos parámetros se indican para evaluación de capacidad y análisis de servicio, y no para análisis estructural

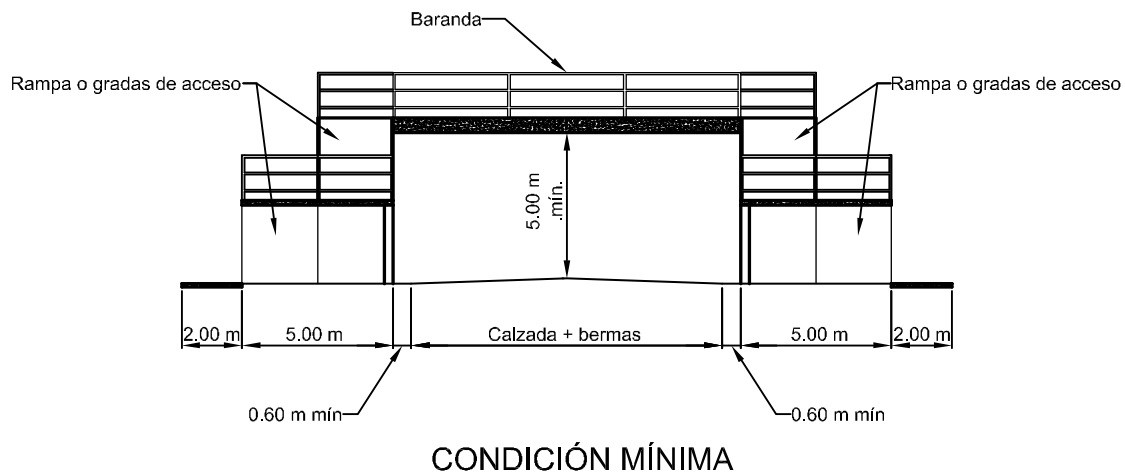


Figura 6.20. - Accesos pasos a desnivel para peatones

CAPÍTULO 7

DISEÑO GEOMÉTRICO DE CASOS ESPECIALES



CAPITULO 7. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CASOS ESPECIALES

En el diseño de carreteras, en casos donde debido a condiciones particulares de algunos sectores del trazado no sea posible mantener el eje de diseño completamente definido por la topografía existente, bien sea por causas de origen natural o por dificultades asociadas a la geometría resultante, será necesario construir obras especiales que posibiliten tanto el diseño, como construcción y operación segura y cómoda dentro de la vía.

Para este tipo de casos, en los cuales las obras requeridas superan en la mayoría de los casos los alcances del presente Manual, se estipulan algunos criterios básicos para su diseño geométrico, sin eximir en ningún momento el cumplimiento de Normas y guías específicas, así como los aportes que realicen los profesionales especializados tanto en su diseño como construcción.

7.1. DISEÑO GEOMÉTRICO DE PUENTES

Este tipo de estructuras pueden requerirse entre otras, para los siguientes casos:

- Cruce por cursos hídricos en los cuales sus caudales de diseño hagan inviable el uso de obras de drenaje típicas.
- Empleo de intersecciones a desnivel.
- Disminución de condiciones geométricas forzadas impuestas por la topografía en algunos sectores.
- Inestabilidad geológica o geotécnica en sectores de la carretera donde su paso sea obligado.

Cualquiera que sea el caso que motive el diseño y construcción de un puente, la estructura deberá satisfacer lo estipulado en el “Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes”, además de las normas adicionales a que haya lugar según el caso particular.

En los casos donde la alternativa del puente se deba al paso por cursos hídricos, se requerirá la realización del estudio de socavación, para un período de retorno estipulado en los Términos de Referencia establecidos por el contratante.

7.1.1. Gálibo

A continuación se presentan los valores mínimos requeridos según el tipo de condición generada:

- Sobre corrientes de agua, relativamente limpias en toda época: mínimo dos metros (2.00 m) por encima del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (N.A.M.E.).
- Sobre corrientes de agua que en algunos períodos transportan desechos, troncos y otros objetos voluminosos: mínimo dos metros con cincuenta centímetros (2.50 m) por encima del N.A.M.E.
- Sobre carreteras. Mínimo cinco metros (5.00 m), salvo que se estipule un valor mayor para el caso particular.
- Sobre vías férreas. Mínimo cinco metros con cincuenta centímetros (5.50 m), salvo que se estipule un valor mayor para el caso particular.
- Sobre cursos hídricos navegables. Dependerá del calado máximo de navegación, por lo que el valor debe ser definido por el Ministerio de Transporte.

7.1.2. Criterios de diseño geométrico

Como principio general aplicable a todas las etapas del proyecto se establece que el diseño de los puentes no deberá generar variaciones súbitas en la geometría de la carretera. En los casos donde las limitaciones particulares impidan el cumplimiento de lo anterior, se deberán realizar los ajustes necesarios a la geometría de las zonas aledañas al mismo, posibilitando a los conductores realizar los ajustes necesarios para una operación segura y cómoda, sin eximir esto el uso de los dispositivos de control de tránsito necesarios.

Los siguientes criterios se basan no sólo en las condiciones de operación para los puentes, sino como una forma de facilitar tanto el diseño estructural como el proceso constructivo de los mismos.

7.1.2.1. Diseño en planta

Salvo condiciones debidamente justificadas y concertadas con el contratante, se deberá atender a los siguientes criterios:

- Se debe buscar que el puente se encuentre dentro de una entretangencia o dentro de un tramo de curvatura constante.
- No se deberán proyectar puentes dentro de curvas de transición.

- Si el puente se localiza en una entretangencia la distancia mínima requerida entre los estribos del puente y las curvas adyacentes será:
 - Para el caso de curvas circulares, entre el estribo y el inicio de la curva deberá existir como mínimo una distancia (D) igual a la requerida para realizar la transición de peralte (L_T), tal como se indica en la Figura 7.1.

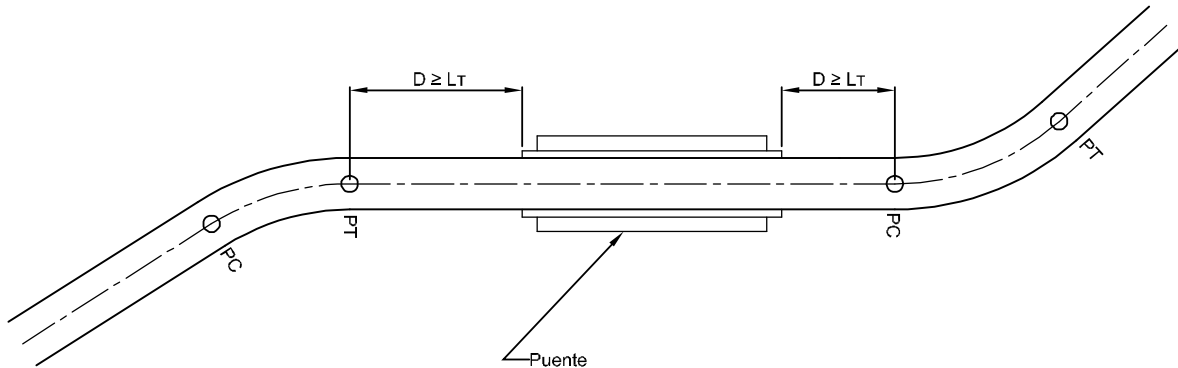


Figura 7.1. – Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes circulares

- Para el caso de curvas con espirales de transición, entre el estribo y el inicio de la espiral de transición deberá existir como mínimo una distancia (D) igual a la requerida para realizar el aplanamiento de la calzada (N), como se indica en la Figura 7.2.

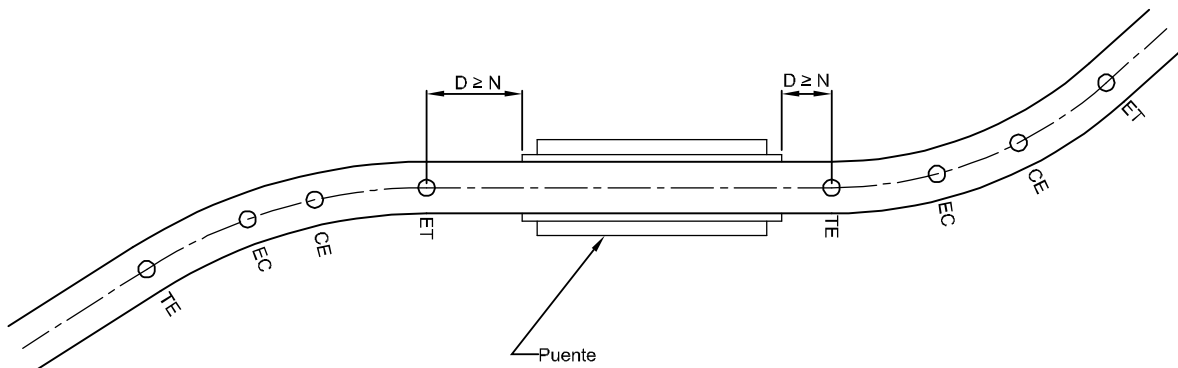


Figura 7.2. – Distancia mínima para el caso de curvas adyacentes con espirales de transición

7.1.2.2. Diseño en perfil

Los diseños deberán cumplir con los siguientes criterios:

- Se debe buscar que el puente se encuentre dentro de un tramo de pendiente constante.

- Cuando se presenten curvas verticales adyacentes al puente, su desarrollo se deberá realizar completamente fuera del mismo. Se aceptará que los puntos extremos de las curvas verticales coincidan exactamente con los estribos del puente.

7.1.2.3. Sección transversal

Los diseños deberán cumplir con los siguientes criterios:

- Para la zona de circulación vehicular se mantendrá la sección transversal típica del tramo de carretera correspondiente a los elementos de la corona.
- Cuando se requiera la implementación de zonas para paso peatonal, éstas se deberán separar de la zona de circulación vehicular mediante barreras y proteger hacia el exterior del tablero mediante barandas.
- Cuando el puente haga parte de una carretera multicarril, se deberá dotar de un separador para cada sentido de circulación.
- En ningún caso los elementos tendrán anchos inferiores a los siguientes:
 - Carril: tres metros con cincuenta centímetros (3.50 m).
 - Berma: un metro (1.00 m).
 - Andenes: un metro (1.00 m).
 - Ciclorrutas: dos metros (2.00 m).

7.2. DISEÑO GEOMÉTRICO DE TÚNELES

En los que casos en que la topografía obligue al diseño de desarrollos del eje de la vía bastante extensos y tortuosos para el cruce de accidentes geográficos como cordilleras y serranías, y como resultado de diferentes análisis de tipo técnico – económico, podrá resultar favorable la construcción de túneles viales como alternativa de diseño dentro del proyecto.

Especialmente en el caso de los túneles, su proceso de diseño y construcción se encuentra fuertemente influenciado por los avances tecnológicos, condición que genera una gama cada vez más amplia de tipologías y elementos auxiliares disponibles. Debido al alto costo que implica la construcción de uno o varios túneles dentro de un proyecto, cualquier decisión en su diseño y construcción deberá estar enteramente sustentada en estudios de tipo técnico – económico y si es posible, en experiencias previas.

Si bien el objetivo del presente Manual no es profundizar en todas las variables y elementos requeridos en el diseño y construcción de los túneles, a continuación se entregarán algunos criterios mínimos que deberán cumplir estas estructuras como parte de un proyecto de carretera.

7.2.1. Generalidades

Un túnel es una cavidad subterránea o subacuática que como solución vial implica una operación vehicular a cielo cerrado.

Este tipo de operación obliga a la toma de ciertas precauciones para garantizar a los usuarios un recorrido a través del túnel dentro de las mejores condiciones de seguridad.

Efectivamente las precauciones están relacionadas con la iluminación, la presencia de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, entre otros gases dentro de la galería; el tipo de circulación vehicular, ya sea unidireccional o de doble sentido y los alineamientos en planta y en perfil, con los demás elementos de la sección transversal.

Es pertinente anotar que los diseños de túneles deberán satisfacer lo estipulado en el “Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes”. Adicional a lo anterior, tanto en la etapa de construcción como de operación, el túnel deberá satisfacer lo estipulado en Decreto 1335 de 1987 (Reglamento de Seguridad en las Labores Subterráneas).

7.2.2. Sentidos de circulación vehicular

El diseño del paso subterráneo implicará la definición de una geometría y cantidad de galerías acorde con las condiciones particulares del proyecto, elementos que adicionalmente dependerán de la disponibilidad económica y tecnológica presente.

A continuación se entregarán algunos esquemas típicos de secciones de túneles dependiendo únicamente de sus sentidos de operación vehicular. La geometría final de la sección o secciones será el resultado del proceso de diseño.

7.2.2.1. Una galería

Operará con dos carriles de circulación, uno para cada sentido. Será reconocido como sentido bidireccional. En la Figura 7.3 se presenta un ejemplo de este tipo de galería

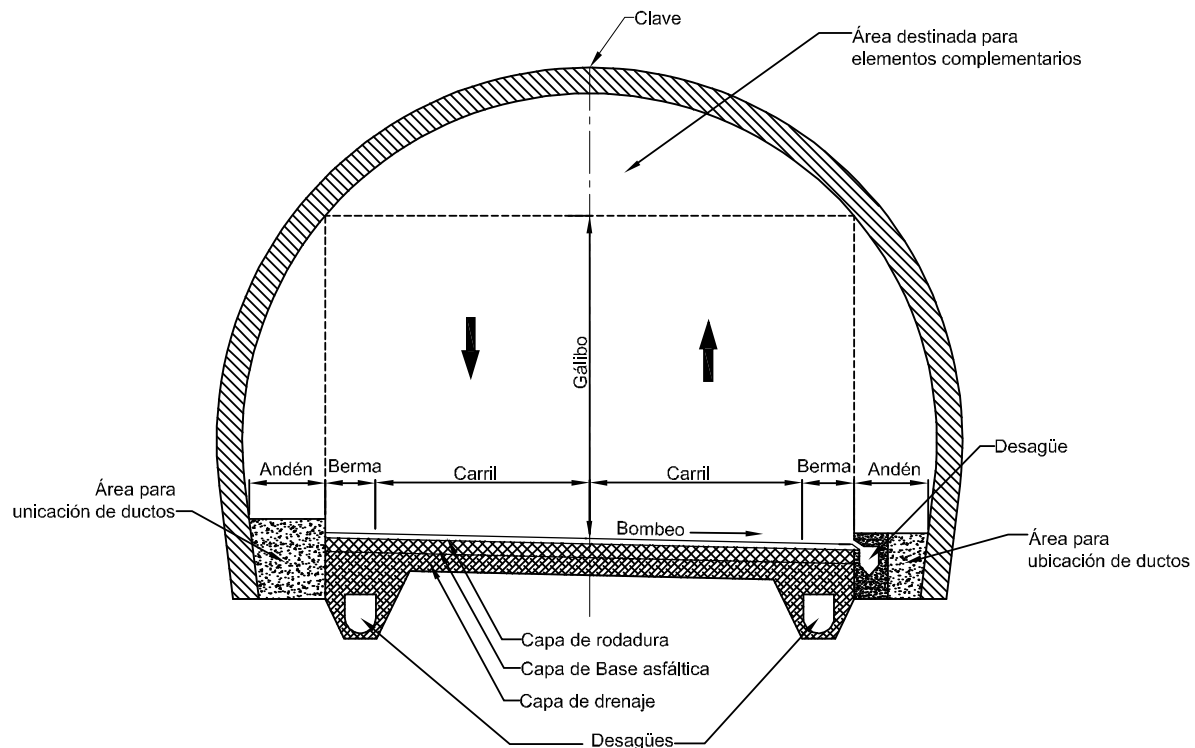


Figura 7.3. – Sección típica de una galería de circulación vehicular bidireccional

7.2.2.2. Doble galería

Cada galería operará con dos o tres carriles de circulación en un solo sentido. Será reconocido como sentido unidireccional. En la Figura 7.4 se presenta un ejemplo de este tipo de galería

7.2.3. Velocidad de diseño

Si bien las condiciones de operación vehicular dentro del túnel no deben propiciar la ocurrencia de situaciones de riesgo en las cercanías de los portales, ni afectar el Nivel de Servicio de los tramos adyacentes al mismo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La cantidad de aire viciado generado por los vehículos estará en función de las condiciones de operación principalmente de los de tipo pesado, razón por la cual se deberá buscar que los vehículos permanezcan dentro del túnel el menor tiempo posible sin generar detrimento en la seguridad en la operación.
- Debido a las condiciones particulares de operación dentro de los túneles, en los casos de galerías de circulación bidireccional será necesario prohibir expresamente las maniobras de adelantamiento.

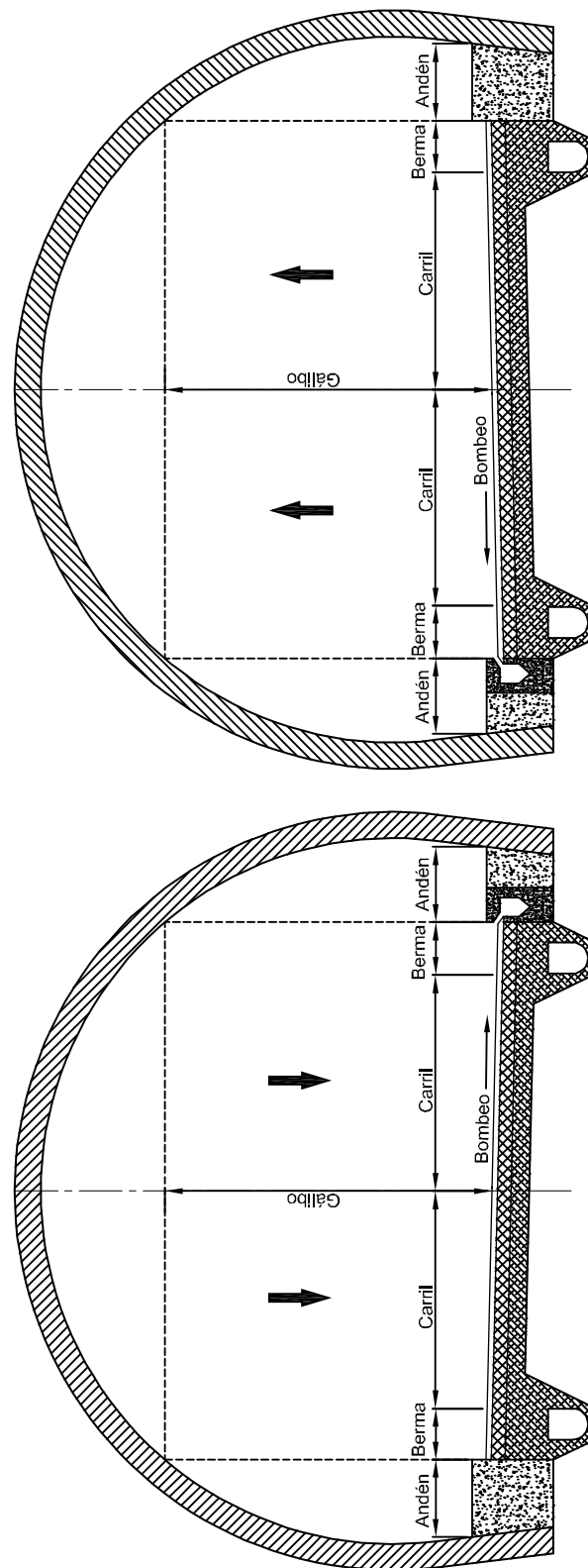


Figura 7.4. – Sección típica de doble galería de circulación vehicular unidireccional

- Para eliminar la necesidad de realizar maniobras de adelantamiento dentro del túnel será necesario establecer condiciones geométricas que permitan una operación uniforme para todos los vehículos.

Para lograr cumplir los anteriores elementos, el diseño geométrico del túnel deberá ser realizado contemplando una Velocidad de diseño para todos sus elementos de cien kilómetros por hora (100 km/h). Lo anterior implica que el diseño debe ser tal que las velocidades específicas V_{CH} , V_{ETH} , V_{CV} y V_{TV} sean todas iguales a cien kilómetros por hora (100 km/h).

7.2.4. Criterios de diseño geométrico

En general, el diseño geométrico del túnel debe encontrarse en concordancia con el de los tramos adyacentes al mismo, sin dar lugar esto a curvaturas innecesarias que podrían además de constituirse en situaciones de riesgo para los usuarios, generar incrementos injustificados en los costos de diseño, construcción y operación.

Para el diseño de todos los elementos geométricos de la sección del túnel se empleará como Velocidad Específica la estipulada en el numeral 7.2.3.

7.2.4.1. Alineamiento horizontal

El diseño en planta del túnel dependerá de su longitud, para lo que se recomiendan los siguientes criterios:

- a) Longitudes menores de doscientos metros (200 m): alineamiento horizontal preferiblemente en recta.
- b) Longitudes entre doscientos metros y quinientos metros (200 - 500 m): alineamiento horizontal compatible con la velocidad de diseño. Cabe anotar que para las zonas exteriores adyacentes a los portales la curvatura debe presentar una transición que permita a los conductores realizar los ajustes necesarios a la velocidad evitando condiciones de operación forzada y por tanto insegura.
- c) Longitudes mayores de quinientos metros (500 m): alineamiento horizontal compatible con la velocidad de diseño. Para este tipo de túneles es importante evitar que los conductores puedan ver los portales a grandes distancias por el efecto distractor que esto genera, para lo cual se recomienda diseñar curvas horizontales en sus proximidades. En los casos de túneles de longitudes mayores a mil quinientos metros (1500 m) se recomienda diseñar adicionalmente una curva horizontal aproximadamente en la mitad de la longitud del túnel buscando disminuir el efecto de cansancio generado por la monotonía en la operación.

7.2.4.2. Alineamiento vertical

Pese a que para el diseño de túneles se deban realizar todos los controles requeridos para el diseño en perfil, la pendiente longitudinal cobra mayor importancia por constituir uno de los principales factores de diseño de los sistemas de ventilación si éstos se requieren.

Para el diseño en perfil del túnel se hacen las siguientes recomendaciones:

- Se debe buscar al máximo que la velocidad de operación, principalmente de los vehículos pesados, sea constante en toda su longitud, para lo cual se deberán evitar tramos que puedan generar condiciones de pendiente crítica. Debido a lo anterior, para el diseño de túneles se recomiendan pendientes longitudinales máximas de tres por ciento (3.0 %). En algunos casos se pueden aceptar pendientes longitudinales hasta de cinco por ciento (5.0 %) siempre y cuando no se exceda la Longitud crítica de pendiente.
- Salvo que las condiciones del sitio lo impidan, se deben diseñar de tal manera que el drenaje se logre por gravedad. Consecuente con lo anterior, como pendiente longitudinal mínima se aceptará cero punto cinco por ciento (0.5 %).
- En el caso de requerir curvas verticales cóncavas, para la verificación de las distancias de visibilidad se deberá tener en cuenta la limitación que genera el techo o clave.
- Cuando se requieran curvas verticales para el empalme con los portales desde el exterior, se recomienda el uso de curvas convexas antes que cóncavas, por el efecto óptico de estrechamiento que generan las últimas.

7.2.4.3. Sección transversal

No obstante que el diseño de la sección transversal depende principalmente de las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de perforación, se deben seguir los siguientes criterios:

- Gálibo mínimo: cinco metros (5 m).
- Ancho de calzada:
 - Galerías de tres carriles, unidireccionales: once metros con cincuenta centímetros (11.50 m).
 - Galerías de dos carriles (unidireccionales o bidireccionales): ocho metros (8.00 m).

- Ancho mínimo de andenes:
 - Andenes a ambos lados: setenta y cinco centímetros (0.75 m) cada uno.
 - Andén en un solo lado: un metro (1.0 m) y un bordillo en el lado opuesto de cuarenta y cinco centímetros (0.45 m).
- Ancho mínimo de bermas. Dependerá del empleado para las zonas adyacentes al túnel.

Es pertinente anotar que el área requerida para satisfacer las anteriores dimensiones no se puede ocupar bajo ninguna circunstancia por equipos o instalaciones de servicio, para las cuales se requerirán áreas adicionales.

Adicional a lo anterior se hacen las siguientes recomendaciones:

- Superficie de rodadura. Debe ser de un material no inflamable, por lo que no se recomienda el uso de concreto asfáltico.
- Se debe buscar al máximo mantener el mismo tipo de sección en toda la longitud del túnel, exceptuando los sitios donde se requieran bahías de estacionamiento o instalaciones especiales.
- Bajo ninguna circunstancia se permitirá la disminución de la sección transversal si esta genera incumplimiento de las dimensiones mínimas estipuladas para la operación.

7.2.5. Elementos complementarios

Con el fin de permitir unas condiciones de operación seguras en el interior del túnel, es necesario construir e instalar una serie de elementos que permitan la atención oportuna ante situaciones eventuales. A continuación se ofrecen algunos criterios generales para su dimensionamiento y ubicación.

- Tal como se dijo en el numeral 7.2.4.3, el diseño y ubicación de los elementos complementarios no podrá generar afectación alguna al área requerida para la operación del túnel.
- Bahías para estacionamiento. Tienen como finalidad principal permitir el estacionamiento de vehículos con fallas mecánicas y del personal de mantenimiento, sus dimensiones son:
 - Ancho mínimo: cuatro metros (4.0 m).
 - Longitud mínima: cuarenta metros (40 m).
 - Separación máxima:

- Galerías bidireccionales: Cada mil metros (1000 m) alternadas.
- Galerías unidireccionales: Cada mil metros (1000 m) al lado derecho.
- Nichos de auxilio. Son excavaciones menores localizadas cada doscientos metros (200 m), provistas de teléfonos de emergencia conectados con el Centro de control, para solicitar ayuda, con botón de emergencia, extintores, mangueras e hidrantes para casos de incendios.
- Nichos de escaleras. Se emplean para túneles largos en los que la evacuación se realiza por conductos separados del túnel principal. Se deben ubicar cada doscientos cincuenta metros (250 m).
- Centro de control. Es el medio para la operación y supervisión del túnel. Deberá recibir toda la información de servicio y emergencia, las señales de telemetría y los reportes de funcionamiento de los equipos.

Deberá contar con áreas destinadas a la atención de primeros auxilios y disponer de vehículos y equipos de rescate ante accidentes ocurridos en el interior del túnel.

- Otros dispositivos. Deben ser instalados todos los equipos requeridos para el adecuado monitoreo de las condiciones internas de operación, todos debidamente conectados con el Centro de control. Para el caso de la señalización vertical y horizontal, su diseño y ubicación deberá satisfacer lo estipulado en el “Manual de Dispositivos para la regulación del Tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.

7.3. PASO POR ZONAS URBANAS Y SUBURBANAS

7.3.1. Por zonas suburbanas

Se deben cumplir los mismos requerimientos indicados para las carreteras (vías rurales), pero teniendo en cuenta que en este tipo de vía es necesario hacer consistentes las intersecciones con las vías urbanas existentes en las afueras de las zonas pobladas, o con las vías a las veredas, garantizando una circulación segura y una adecuada comunicación entre el área urbana y la vía a diseñar.

Debido a la presencia de obras de infraestructura en las áreas perimetrales de los centros poblados como colectores de aguas negras, conducciones de acueductos, redes eléctricas, etc., es necesario que el proyecto no produzca interferencias con dichas obras de infraestructura, para lo cual es indispensable el diseño de obras de cruce tales como puentes, pasos a desnivel, construcción de nuevos colectores, nuevos conductos de agua potable, etc.

El diseño geométrico de la vía suburbana debe tener una relación directa con las nuevas obras de infraestructura requeridas, tanto en su diseño en planta como en perfil, para no producir inconsistencias entre los elementos del proyecto y dichas obras.

7.3.2. Por zonas urbanas

Como el flujo vehicular proveniente de la vía rural que se está diseñando cruzaría el área urbana, es indispensable el estudio riguroso de las vías urbanas que potencialmente servirán como vías de paso del proyecto. Estos estudios deben contener las siguientes actividades básicas:

- Estudio de alternativas de alineamientos en planta y perfil para permitir empalmes adecuados entre la calzada del proyecto y las calzadas de la zona urbana.
- Inventario de la red de drenaje, alcantarillado, teléfonos, gas, etc., para realizar los ajustes de los niveles de la nueva calzada y las cotas de las obras mencionadas.
- Estudio detallado de la sección transversal del proyecto desde el punto de vista de volúmenes de tránsito generados al combinar los volúmenes propios de la carretera y los volúmenes de las vías urbanas.
- Diseño completo de las intersecciones dentro del área urbana.
- Diseño del espacio público a lo largo y ancho de la vía que cruza el área urbana.
- Estudio detallado del impacto ambiental producido por el proyecto sobre el área urbana. Este criterio es determinante en la selección de alternativas de las posibles zonas que se utilizarían para el cruce del proyecto por dicha zona urbana.

CAPÍTULO 8

CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA



Condición indeseable



CAPITULO 8. CONSISTENCIA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA

El diseño de una carretera, pese a ser abordado de forma separada en planta, perfil y en sección transversal, tiene como producto final una franja tridimensional en la cual la totalidad de sus elementos generarán un conjunto único de interacción con los usuarios y determinarán las condiciones reales de operación.

Durante el proceso de diseño es necesario anticipar la interacción de los elementos de la carretera con las condiciones probables de operación vehicular así como con el entorno que ésta afectará, con el fin de evitar sobrecostos derivados de correcciones durante el proceso de construcción o antes de cumplirse su período de servicio.

En el presente capítulo se plantean algunos criterios para la aproximación a un diseño vial seguro y agradable partiendo de los elementos principales contemplados en el diseño, así como de la experiencia recogida tanto en el país como por diferentes entidades internacionales a partir de las vías en operación.

Los avances tecnológicos actuales expresados en programas de cómputo que facilitan la simulación tridimensional del proyecto son herramientas que pese a su gran aporte, no permiten la determinación con detalle de algunos de los elementos descritos en esta sección, por lo cual siempre será necesario estudiar las representaciones en planta, perfil y sección transversal del diseño.

La aplicación de los criterios debe dar como resultado un diseño que cumpla con las siguientes condiciones:

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

Todo esto debe ser complementado con medidas de control del tránsito que le permitan al conductor prepararse y adaptarse a las condiciones impuestas por la geometría de la vía, para lo cual paralelamente se debe cumplir lo estipulado en el “Manual de Dispositivos para la regulación del Tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.

Es pertinente anotar que todas las condiciones descritas, así como los controles propuestos, deben ser realizados según las características de la vía a diseñar, en ambos sentidos si se trata de una vía de doble sentido; y si corresponde a una carretera de dos calzadas, la evaluación se hará dependiendo del sentido de circulación de cada una.

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

Las herramientas básicas para la realización de este análisis serán los planos de diseño Planta - perfil. Los elementos generales a tener en cuenta se indican en los numerales siguientes

8.1.1. Combinaciones indeseables

Tanto la curvatura en planta como en perfil y sus pendientes deben presentar un balance apropiado según el tipo de vía y el tipo de terreno. Se deben evitar combinaciones tales como:

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

Las siguientes situaciones deben ser evitadas al máximo:

- En tramos rectos y curvas horizontales de gran radio, se debe evitar la presencia de curvas verticales cóncavas de poca longitud, tal como se ilustra en la Figura 8.1.

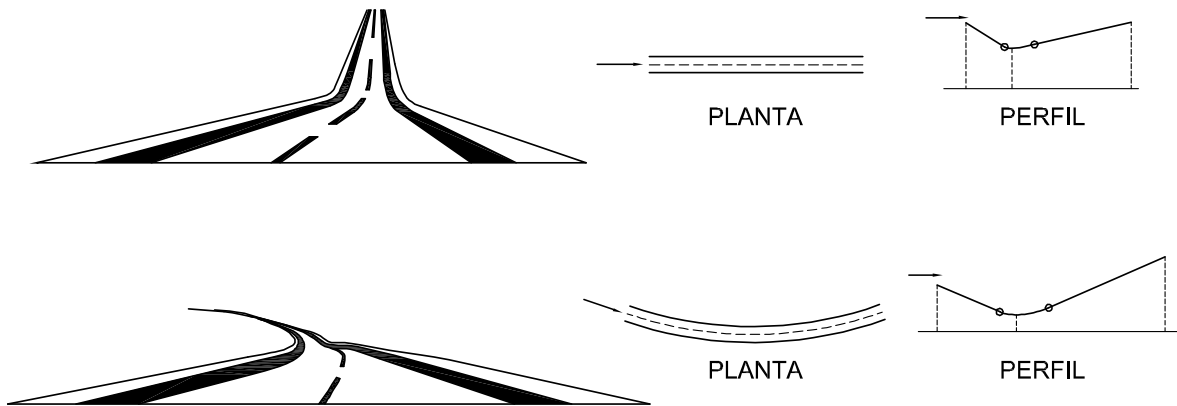


Figura 8.1. – Curvas verticales cóncavas de poca longitud

- En terrenos planos y ondulados, la ubicación de curvas verticales sucesivas y de corta longitud produce un efecto de pérdida de trazado y de disminución de los tramos de oportunidad de adelantamiento. Peor aún, cuando a estas situaciones se suman curvas en planta sucesivas, la apariencia del trazado desde un sitio alto del mismo dará una impresión incómoda a los conductores, tal como se ilustra en la Figura 8.2.

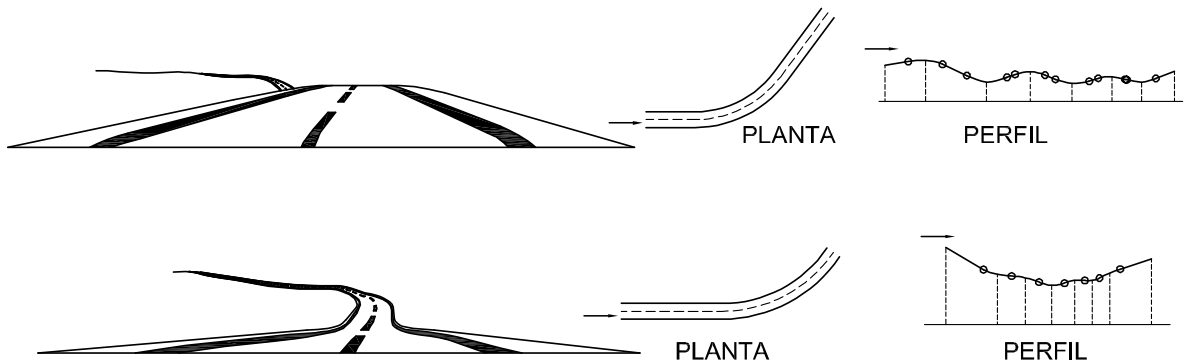


Figura 8.2. – Curvas verticales sucesivas

- La ubicación de tramos rectos cortos entre dos curvas verticales cóncavas o convexas, tal como se ilustra en las Figuras 8.3a y 8.3c. Lo anterior se debe reemplazar por una curva vertical única de gran parámetro (ver Figuras 8.3b y 8.3d) siempre y cuando esto no vaya en contra de los valores determinados para el proyecto según el numeral 4.2.3. Determinación de la longitud de la curva vertical.

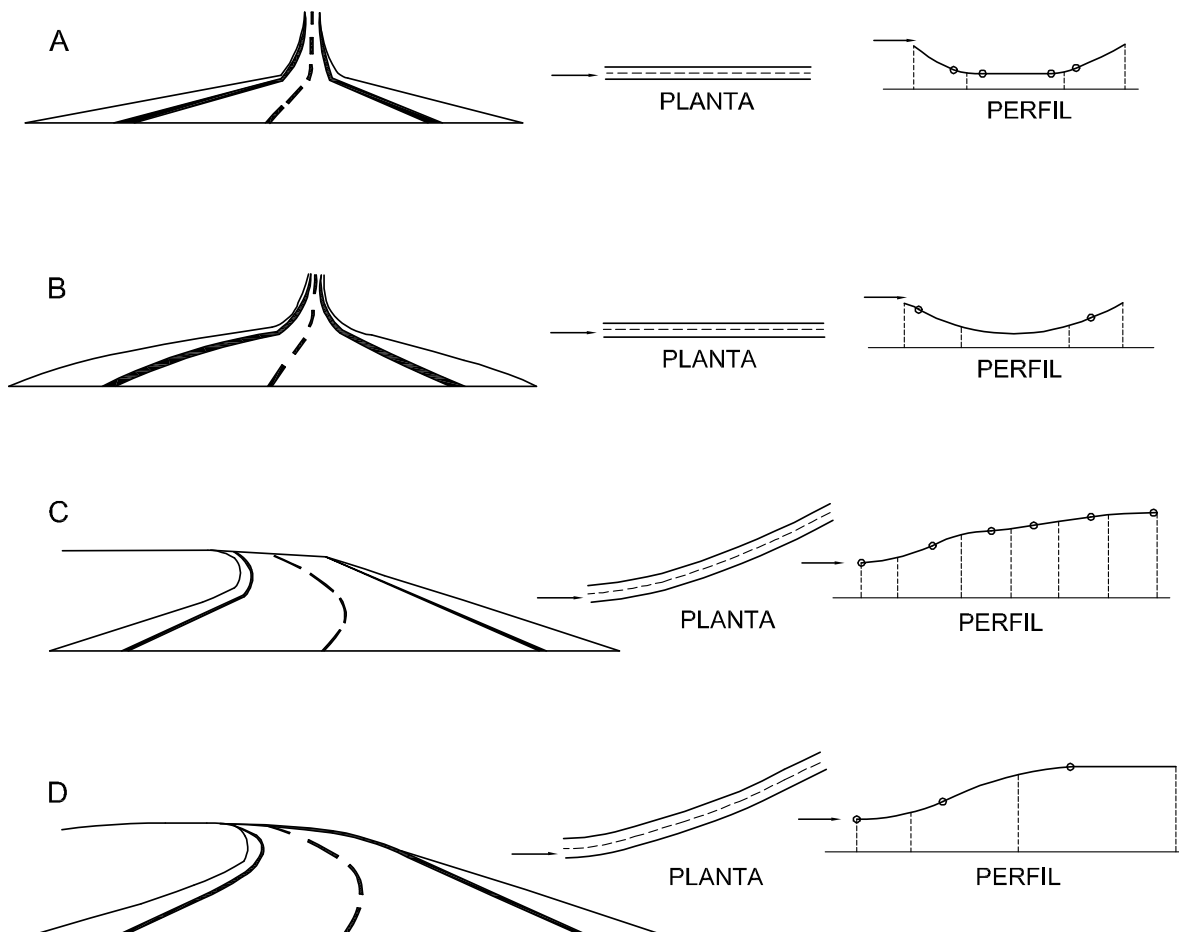


Figura 8.3. – Reemplazo de tramos rectos cortos por curvas verticales de gran parámetro

- La coincidencia entre curvas verticales convexas y puntos de inflexión de curvas horizontales genera situaciones de peligrosidad para la operación por la alta probabilidad de decisiones erróneas por parte de los conductores.

En muchos casos, estas situaciones no pueden ser evitadas completamente, sin embargo, es altamente deseable poder ofrecer una visibilidad continua de la carretera en una longitud por lo menos igual a los valores presentados en la Tabla 8.1, que corresponden a la distancia media en la cual los conductores fijan su atención durante el desplazamiento.

Cabe anotar que los valores estipulados en la Tabla 8.1 no eximen en ningún momento el cumplimiento de los definidos en el numeral 2.3.

Tabla 8.1.
Distancias de Visibilidad según la Velocidad Específica del elemento geométrico que se recorre

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

8.1.2. Combinaciones recomendadas

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de combinaciones que pueden ayudar a una operación cómoda y segura, siempre y cuando se cumplan en todos los casos los criterios descritos en los Capítulos 2, 3, 4 y 5. Cabe anotar que el diseñador deberá realizar un análisis particular en los casos donde las combinaciones aquí presentadas puedan generar efectos adversos al diseño y operación de la carretera.

- Cuando se presenten variaciones en el tipo de terreno que obliguen a la ubicación de curvas horizontales y verticales con parámetros cercanos al mínimo, se debe generar una transición de la geometría en las zonas adyacentes, de tal forma que se facilite a los conductores realizar los ajustes necesarios a la velocidad (ver Figura 8.4).

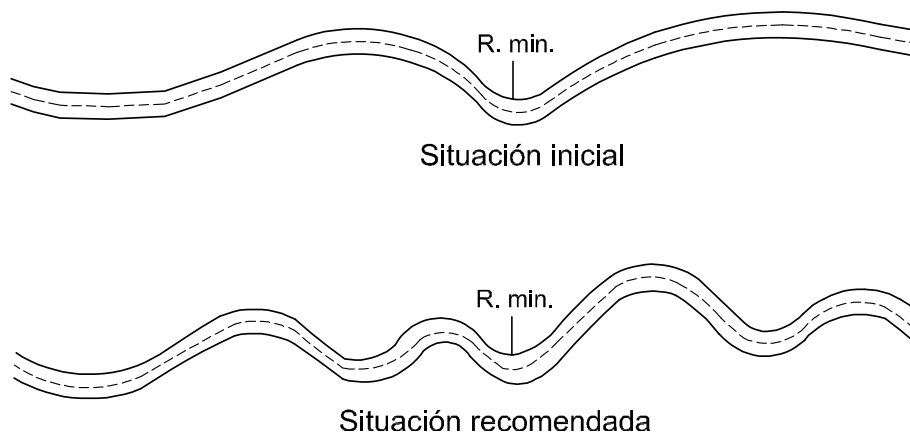


Figura 8.4. – Transición de geometría en sitios con radios cercanos o iguales al mínimo

- Se debe buscar al máximo la coincidencia de curvas horizontales y verticales, siempre y cuando los valores de diseño para cada una no se encuentren muy cercanos o exactamente en los mínimos permitidos. Lo anterior tiende a aumentar la ocurrencia de tramos con visibilidad de adelantamiento y mejorar las condiciones de drenaje, entre otras. Cuando se realice esta superposición empleando curvas convexas, se debe permitir que los conductores identifiquen la presencia y magnitud de la curva horizontal antes de generarse el cambio de pendiente longitudinal, es decir, se debe limitar la longitud de la curva vertical convexa según el tipo de curva horizontal, de la siguiente manera:
 - Si la curva es espiralizada, el desarrollo de la curva vertical deberá realizarse dentro del tramo circular central.
 - Si se emplea una curva espiral – espiral, el desarrollo de la curva vertical deberá permitir al conductor apreciar más de la mitad de la longitud de la curva horizontal.
 - Si la curva es circular simple, el desarrollo de la curva vertical se deberá realizar en una longitud inferior a la de la horizontal.
 - Si se emplean curvas circulares compuestas, la longitud de la curva vertical deberá permitir al conductor apreciar por lo menos dos curvas simples consecutivas.
- En terrenos planos, deben sustituirse los tramos rectos de gran longitud por curvas horizontales de gran dimensión, buscando disminuir el efecto de monotonía causado por alineamientos muy largos así como el deslumbramiento durante la noche generado por los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario.
- El uso de curvas verticales cóncavas es recomendable, siempre y cuando éstas se encuentren acorde con la longitud del tramo de pendiente constante, requiriéndose mayores longitudes de curva entre mayor sea la longitud de las pendientes adyacentes (ver Figura 8.5).

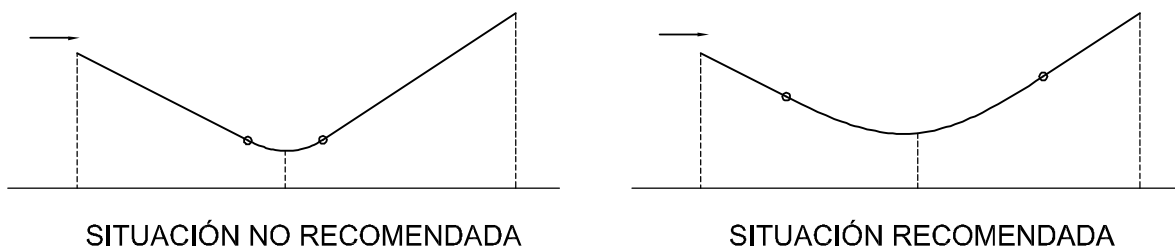


Figura 8.5. – Uso de curvas cóncavas acorde con las pendientes adyacentes

- En sectores de la carretera donde el terreno presente ondulaciones acentuadas, se deben emplear curvas verticales convexas de mayor longitud que las cóncavas, buscando con esto mejorar las condiciones de visibilidad en las partes altas (Ver Figura 8.6.).

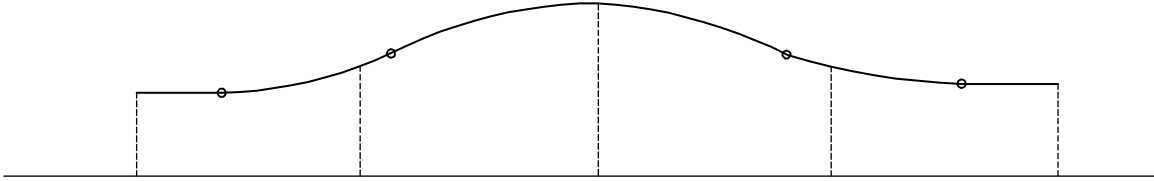


Figura 8.6. - Curva vertical convexa de mayor longitud que las cóncavas adyacentes

- En terrenos planos o con ondulaciones bajas, se deben emplear longitudes mayores para las curvas verticales cóncavas que para las convexas, buscando aprovechar las condiciones de visibilidad de las primeras. La anterior recomendación debe ser adoptada siempre y cuando no se incurra en la condición ilustrada en la Figura 8.2 (ver Figura 8.7.).

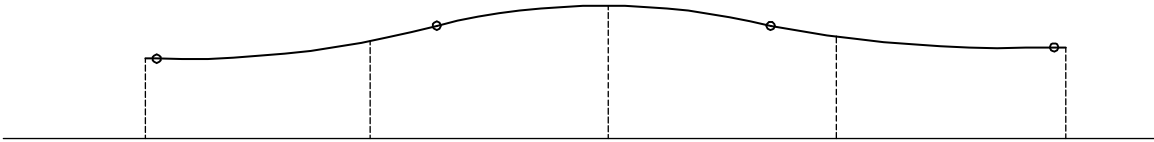


Figura 8.7. – Curvas verticales cóncavas de mayor longitud que la convexa central

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

Si bien son múltiples los elementos que pueden afectar el diseño de la vía o ser afectados por éste, no es el objetivo de este capítulo, y en algunos casos del Manual, suministrar elementos puntuales para su diseño. A continuación se ofrecen algunos criterios para la ubicación de obras auxiliares de la carretera, así como las intersecciones de ésta con otras vías.

8.2.1. Puentes e Intersecciones

Las siguientes recomendaciones son válidas tanto para intersecciones a nivel como a desnivel y son complementarias a lo estipulado en el capítulo 6.

- Deben estar ubicadas en zonas donde se pueda garantizar una amplia visibilidad, tanto en la vía de circulación como hacia la vía o vías con que se interseca. En la mayoría de los casos se recomienda el uso de curvas

verticales cóncavas. En caso de no poderse cumplir esta condición para las dos vías, se le debe dar prioridad a la vía de mayor importancia (ver Figura 8.8.).

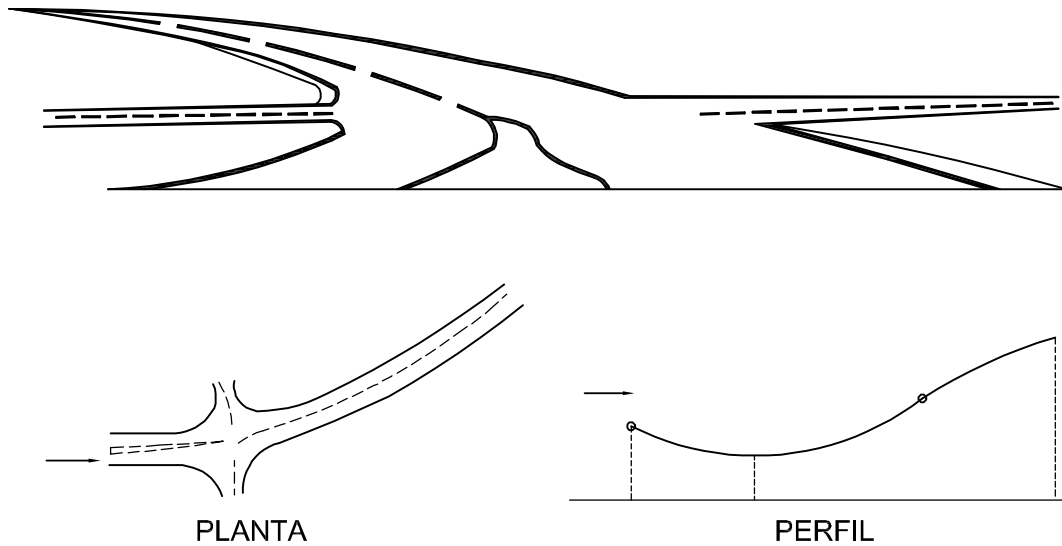


Figura 8.8. – Localización recomendada de sitios de intersección

- La presencia de bifurcaciones no debe generar confusión a los conductores. Su diseño debe mostrar la prioridad de la vía principal, y para la vía de menor importancia se debe plantear la intersección mediante un ángulo pronunciado que induzca una respuesta adecuada por parte de quienes ingresan, así como una transición de velocidades segura y cómoda (ver Figura 8.9.).

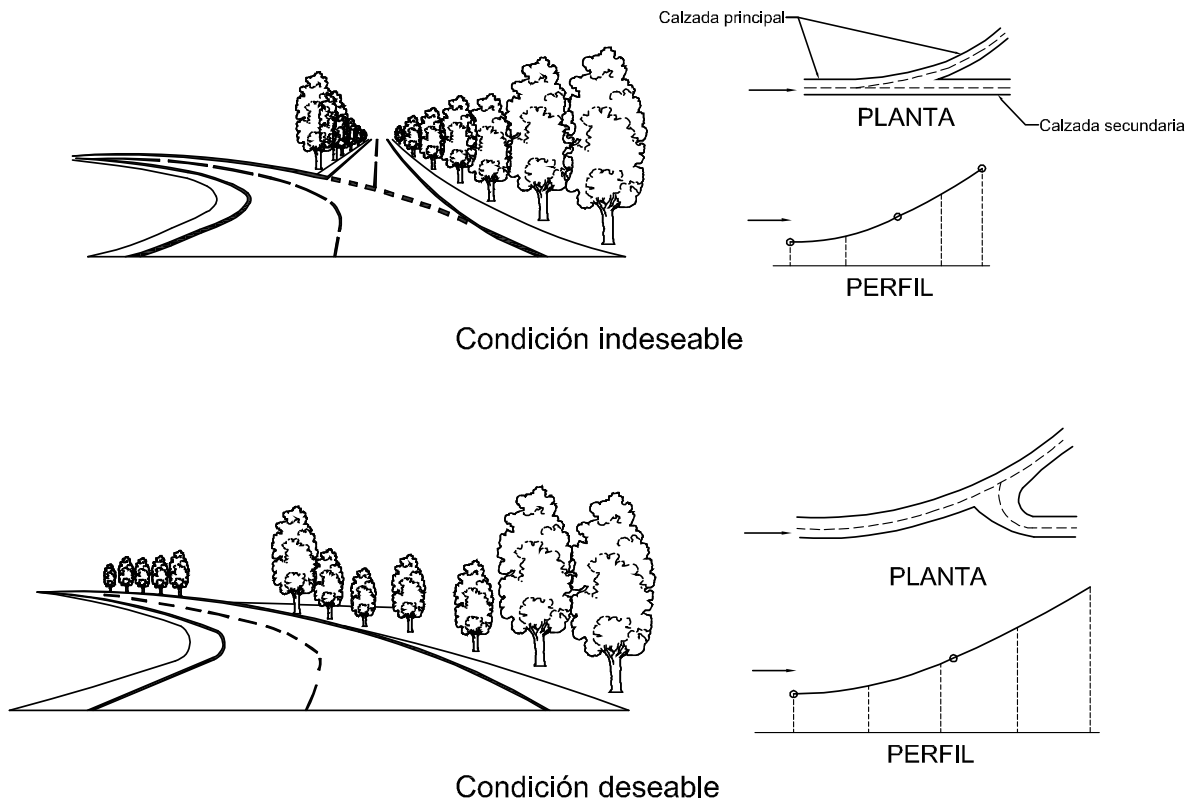


Figura 8.9. – Efecto producido por una bifurcación

- La siembra de árboles en zonas cercanas a la intersección puede servir para advertir a los conductores sobre la presencia de la misma, siempre y cuando la ubicación de los mismos no afecte las condiciones de visibilidad requeridas, ni represente riesgo ante el evento que un vehículo se salga de la vía.
- En los sitios donde sea necesaria la construcción de un puente, su ubicación no deberá entorpecer las condiciones de operación, para lo cual se debe procurar que:
 - Su ubicación no genere condiciones geométricas forzadas (ver Figura 8.10.).
 - Su sección transversal no genere efectos ópticos indeseables, tal como la disminución aparente del ancho de calzada (ver Figura 8.11.).
 - El trazado le permita a los conductores su identificación oportuna, evitando con esto la desorientación de los mismos por efectos “sorpresa”.

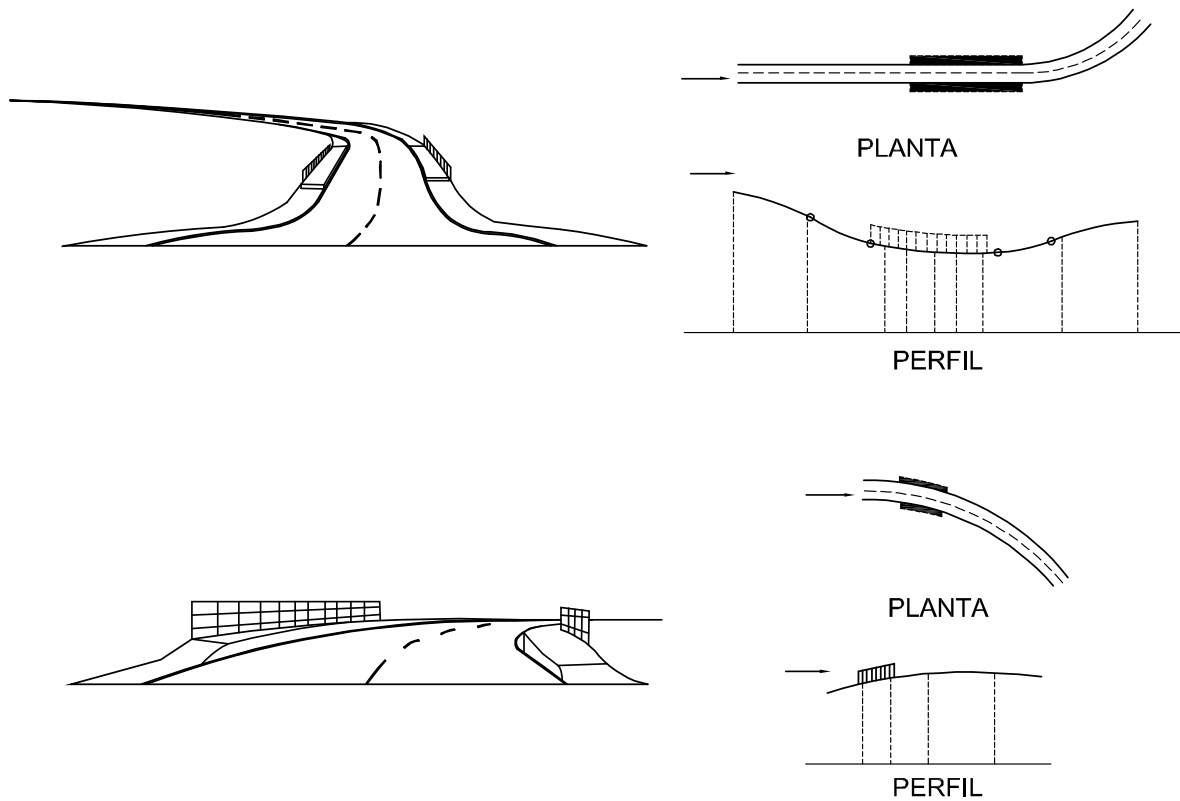


Figura 8.10. – Situaciones indeseables producidas por la ubicación errónea de un puente

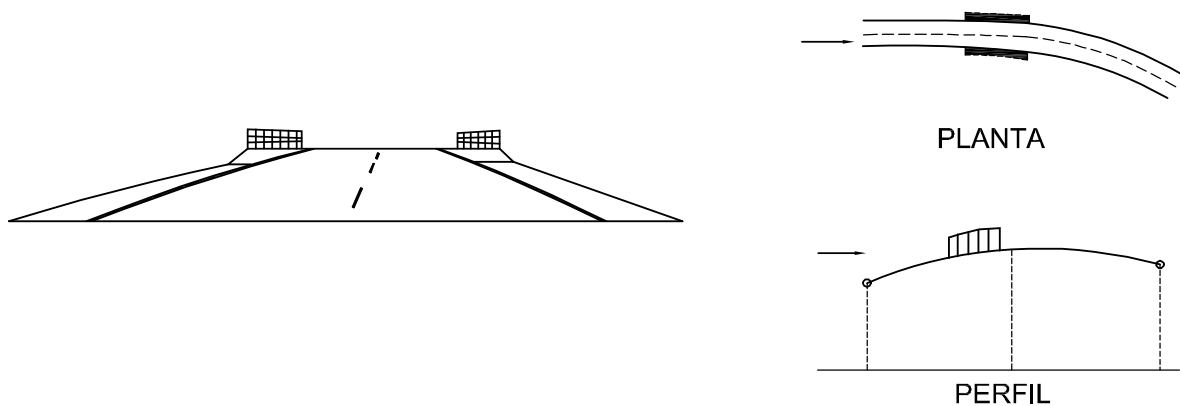


Figura 8.11. – Reducción aparente del ancho de calzada

- En lo posible, el diseño de la sucesión de intersecciones dentro del proyecto debe corresponder a un patrón homogéneo, con lo cual se busca facilitarle a los conductores la identificación de los movimientos y desarrollos en las mismas. Lo anterior no exime en ningún momento la ubicación de los dispositivos de control de tránsito necesarios, así como tampoco pretende que

el diseño estético de estos sitios no cuente con el respectivo análisis individual.

8.2.2. Elementos de drenaje

Con el fin de aumentar la durabilidad del conjunto de elementos de la vía así como disminuir la afectación de la operación vehicular y peatonal, es necesario construir sistemas de drenaje acorde con las características del sitio. No obstante lo anterior, en el presente Manual no se busca entregar criterios específicos para el diseño de las obras de drenaje requeridas.

En términos generales se puede decir que los elementos de drenaje no deben obstaculizar ni generar afectación a las condiciones de operación vehicular, ya sea por disminución física o aparente del ancho de calzada. Algunas recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta por el diseñador para lograr esta condición son:

- Las obras de drenaje deben contar con una capacidad tal que se eviten al máximo las ocasiones en las cuales se presenten concentraciones de agua en la vía, las cuales generan disminución en la velocidad de los vehículos, y en casos críticos accidentes por el fenómeno de “hidroplaneo”.
- En lo posible, las obras de drenaje no se deben ubicar dentro de curvas horizontales de radios cercanos al mínimo por el efecto restrictivo que generan sobre los conductores y que los obliga a realizar operaciones súbitas de frenado.
- El diseño de obras de captación superficial, como es el caso de las cunetas, debe permitir la conformación de una sección transversal segura y cómoda. Se deben evitar al máximo las secciones hidráulicas que puedan generar la detención de los vehículos y en algunos casos su volcamiento ante el evento que algún vehículo traspase el borde exterior de la berma.
- Las estructuras de drenaje deben permitir que en condiciones de funcionamiento normal no se presente acumulación de sedimentos ni residuos que propicien su colmatación.
- En zonas de cruce de peatones se debe tener precaución en que las aguas de escorrentía no afecten el paso de éstos; por tal razón se deben ubicar estructuras de captación aguas arriba de los cruces.
- En los sitios de intersecciones, las obras de drenaje deben contar con una ubicación y capacidad tal que no se genere entorpecimiento de las condiciones de operación de las intersecciones.
- Se debe tener especial cuidado en los sitios de descarga de las estructuras de drenaje a fin de no generar daños en las propiedades adyacentes a la vía.

- En los casos donde se presenten curvas verticales cóncavas con cambio de signo de las pendientes de entrada y salida, se debe ubicar la obra u obras de drenaje de tal manera que se evite la acumulación de agua en la parte más baja de la curva.

8.2.3. Iluminación

La iluminación constituye uno de los principales elementos para garantizar la operación segura en la vía durante la noche. Pese a lo costoso y posiblemente innecesario que podría resultar la instalación de luminarias a lo largo de todo el recorrido de la carretera, existen sitios y criterios específicos que pueden justificar la implementación de este tipo de medidas, tales como:

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

Partiendo de lo anterior, se ofrecen algunas guías básicas para la instalación de luminarias en las carreteras:

- No deben interferir la visibilidad de los conductores, ni por deslumbramiento ni por la ubicación de los postes soporte.
- En lo posible, deben ser ubicadas lo más alejadas posible de la calzada, con el fin que estas no se constituyan en elementos susceptibles a colisiones.
- No deben implementarse luminarias de gran potencia en zonas pobladas por la afectación que estas generan a los residentes.
- La separación entre luminarias debe ser la máxima que provea condiciones de intensidad lumínica admisible y por consiguiente económica.

8.2.4. Redes de servicios

El derecho de vía requerido para la carretera además de cumplir con las funciones propias del diseño geométrico, corresponde a un área en la cual resulta práctica la instalación de redes de servicios de diferentes niveles de beneficio, para lo cual se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Para el caso de redes subterráneas, se debe evitar al máximo su ubicación dentro de la zona destinada a la calzada. En los casos donde se requiera que éstas crucen la vía, se debe procurar que lo hagan en ángulos muy cercanos a noventa grados (90°) con el fin de minimizar la afectación de la estructura del pavimento ante eventuales mantenimientos.
- Para la separación horizontal y vertical entre redes se debe cumplir con las especificaciones de las empresas prestadoras de cada servicio, así como con los reglamentos de los entes reguladores estatales.
- Para el caso de redes aéreas, los postes se deben ubicar lo más alejado posible de la calzada buscando evitar que se constituyan en elementos susceptibles de colisiones.
- Ante la presencia de puentes, se deberán construir estructuras de paso independientes para las redes, evitando la instalación de las redes en éstos.

8.3. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LOGRAR UN DISEÑO ESTÉTICO Y ARMONIOSO CON EL PAISAJE

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

- La carretera corresponde a un elemento del patrimonio físico de las comunidades y por tal razón se debe constituir en parte integral del desarrollo de las regiones sobre las cuales influye.
- Sin detrimento de las condiciones de operación esperadas ni de los requisitos geométricos y de seguridad requeridos, la carretera debe respetar los entornos tanto ecológicos como topográficos sobre los cuales será construida.

- La carretera no solo se constituirá en un elemento de integración y desarrollo económico por su finalidad de interconexión, sino también como elemento potenciador de la dinámica de las zonas por las cuales transcurre.

El grado de acoplamiento que el proyecto logre generar con su entorno seguramente redundará en la mitigación de los diferentes impactos que éste genere sobre los ecosistemas de influencia, ya sean estos naturales o antrópicos.

Es así como el proceso de adaptación estética del proyecto no debe ser considerado como un elemento accesorio al proceso de diseño al limitarse a los últimos momentos del proceso constructivo, sino que debe ser abordado a partir y de manera simultánea con la selección del corredor de ruta, requiriendo para esto la participación de diferentes disciplinas complementarias con la ingeniería.

En los proyectos en los que su grado de importancia así lo justifique, será necesaria la participación de profesionales relacionados con el tema, tales como arquitectos paisajistas, biólogos, ecólogos, geógrafos, y los demás a que haya lugar según el caso particular.

Algunas de las principales herramientas requeridas para la realización de la adaptación estética del proyecto, y que deben estar presentes en todas las fases de formulación, son:

- Fotografías aéreas de la zona.
- Restituciones aerofotogramétricas.
- Sistemas de Información Geográfica.
- Registros visuales y escritos de los recorridos de campo.
- Estudio de Impacto Ambiental de cada una de las zonas del proyecto.
- Planos de diseño según la fase del proyecto correspondiente.
- Inventarios de flora y fauna de las distintas zonas de vida delimitadas.

Cabe anotar que las herramientas mencionadas no eximen al diseñador de la consecución de información adicional según las condiciones particulares del proyecto y de la zona.

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

8.3.1. Corredor de ruta

Para la selección del corredor de ruta a partir de las diferentes opciones planteadas se deberá tener en cuenta, entre muchos factores, los siguientes:

- Grado de adaptación a la topografía natural.
- Uso del suelo.
- Presencia de atractivos naturales o antrópicos que el proyecto pueda resaltar.
- Presencia de zonas en las que la construcción y operación del proyecto pudiera generar gran cantidad de impactos negativos y pocas oportunidades de mitigación o prevención.

8.3.2. Alineamiento horizontal

Para la definición del eje en planta se deben considerar los siguientes aspectos:

- Los esbozados en el numeral 8.3.1 en las condiciones y detalle de la Fase 2.
- La presencia de poblaciones, ya sea que el proyecto genere afectación positiva o negativa.
- En coordinación con el diseño de la sección transversal, la posibilidad de establecer zonas de servicio y descanso para los conductores, o también la ubicación de miradores que permitan a los usuarios apreciar el paisaje sin entorpecer su atención durante la conducción.

8.3.3. Alineamiento vertical

Se debe tener en cuenta que en sitios donde se quiera captar la atención de los conductores hacia el entorno, tales como intersecciones y paisajes atractivos, se deben emplear pendientes suaves.

8.3.4. Sección transversal

Para el caso de la definición de la sección transversal, los siguientes criterios, además de contribuir a ofrecer un aspecto armonioso de todos los elementos, influyen directa o indirectamente en la protección que requieren ante los efectos derivados de los procesos naturales de erosión y depósito:

- Cortes. El comportamiento global de los taludes de corte dependerá principalmente de las características geológicas y geotécnicas del sitio donde sean realizados. Es así como el diseño de pendientes de los mismos deberá ser el resultado de análisis detallados de estabilidad.

Para el caso de suelos con alto potencial erosivo es recomendable la siembra de especies vegetales en las caras de los taludes, cumpliendo el doble propósito de protección ante la erosión y enlucimiento de la sección transversal de la carretera.

Adicional a lo anterior, y con finalidad similar, se recomienda realizar el afinamiento de los taludes así como la suavización de los bordes superiores e inferiores de los mismos.

- Terraplenes. En el diseño de los terraplenes se deben considerar los siguientes aspectos:
 - La protección contra los procesos erosivos. Determinada por las pendientes, cobertura vegetal y obras de drenaje.
 - El mejoramiento del aspecto estético de la vía. Dependiendo de las pendientes transversales del terreno y de los terraplenes se podrá disminuir el efecto de discontinuidad sobre el paisaje.
 - El efecto combinado de terraplenes de baja altura con pendientes bajas de sus taludes se puede constituir en un factor favorable para la disminución de accidentes graves por vehículos que eventualmente se puedan salir de la vía. Lo anterior no exime, en los casos en que se requiera, de la instalación de medidas de control de tránsito, barreras de protección y demás obras que cumplan propósitos de seguridad vial.
- Separador central. En los casos de vías con varias calzadas, o en los casos donde se pretenda establecer jerarquías de operación entre calzadas, el diseño de los separadores centrales debe cumplir, al menos, con los siguientes criterios:
 - Sus dimensiones deben estar acorde con la jerarquía de las vías que separan.
 - Su aspecto debe ser tal que contribuya a ofrecer una sensación agradable a los usuarios de la carretera.
 - En los casos de emplearse especies vegetales como forma de ornamentación, su tipo y ubicación no debe generar factores de riesgo de accidentalidad adicionales a la vía.
 - Su diseño debe permitir un adecuado drenaje sin generar flujos de agua adicionales sobre las calzadas.
 - En lo posible, sus dimensiones deben permitir que estos elementos funcionen como zonas de ampliación de la vía en el futuro.

- En los casos donde se requiera realizar variaciones en su ancho, la ubicación de las transiciones no deberá generar confusión a los conductores por la percepción de variación súbita de la geometría (ver Figura 8.12.).

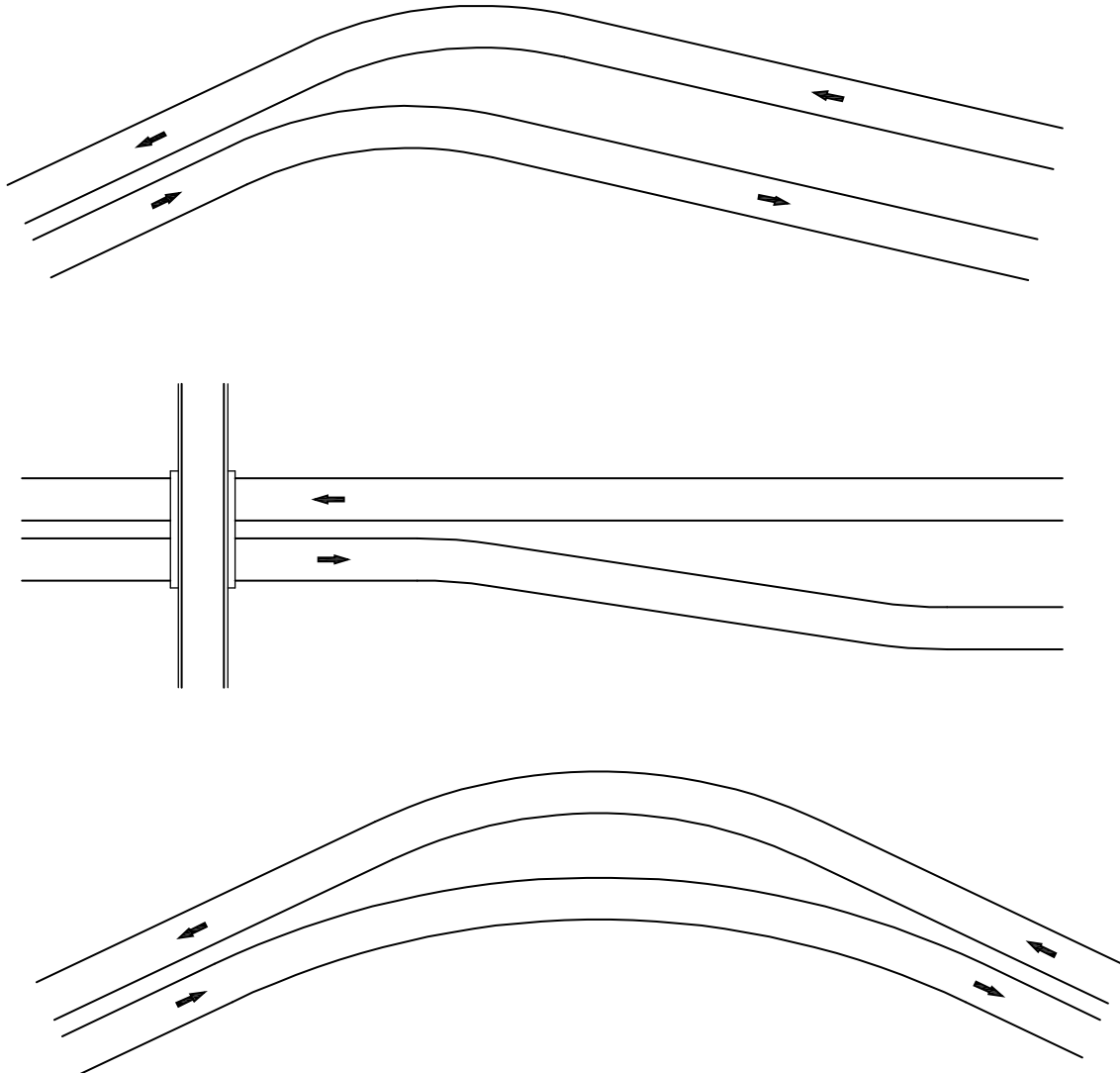


Figura 8.12. – Transiciones recomendadas en el ancho del separador central

8.3.5. Intersecciones y estructuras complementarias

Por corresponder a estructuras puntuales en la carretera, su presencia se hace especialmente notoria durante la circulación. Es por esto que su diseño debe realizarse con especial cuidado y buscando aportarle a la vía una ganancia estética adicional. En esta etapa cobra mayor importancia la participación de arquitectos paisajistas.

8.3.5.1. Con ubicación directamente sobre la carretera

En términos generales, su diseño, sin detrimento de las condiciones de funcionamiento estructural, debe ser lo más sencillo posible y ofrecer la existencia de campos visuales amplios, evitando que surjan sitios de disminución aparente de la sección transversal. Para el logro de lo anterior, se ofrecen las siguientes recomendaciones:

- Es deseable que su diseño, además de destacar su aspecto propio, realce las condiciones estéticas de la carretera, de tal manera que el recorrido por ésta genere condiciones agradables a los usuarios y, por supuesto, disminuyan el efecto de monotonía en los conductores.
- En estructuras de servicios, como es el caso de paraderos y casetas de peaje, su diseño debe facilitar la ubicación de los usuarios dentro de las mismas, disminuyendo la probabilidad de entorpecimiento al flujo vehicular.
- En los casos donde se requieran pasos a desnivel, su paso inferior debe contar con un amplio campo visual propiciado por un diseño lo más simple posible de las partes del puente, recomendación que cobra mayor importancia para el caso de puentes de luces cortas.

8.3.5.2. Con ubicación a los lados de la carretera

En este tipo de estructuras, como es el caso de estaciones de servicio de diferente tipo, su ubicación, además de respetar las condiciones operacionales de la vía y de seguridad, debe generar un impacto estético agradable no sólo para los usuarios de la carretera, sino para los sitios donde se encuentran ubicadas. Algunas recomendaciones para el logro de este objetivo son:

- Su diseño arquitectónico debe encontrarse en concordancia con el estilo de la zona de ubicación, sin detrimento de los detalles especiales que contenga el diseño para lograr su realce estético.
- Los materiales empleados para la construcción deben ser preferiblemente iguales en su totalidad o en parte a los empleados en la zona, con el doble propósito de resaltar las técnicas constructivas locales y generar ahorros en los costos de materiales.

8.3.5.3. Con ubicación no visible desde la carretera

Este tipo de estructuras, si bien no se destacan para los usuarios de la vía, pueden influir de manera positiva o negativa para los residentes de las zonas de influencia. El ejemplo más simple de éstas corresponde a las obras de drenaje vial y en general a todas las obras de mitigación del impacto ambiental.

8.3.6. Plantaciones

El uso de especies vegetales de diferente tipo se constituye en una de las prácticas más comunes para el mejoramiento estético de la carretera, cumpliendo entre otras las siguientes funciones:

- Colaborar a la adaptación global de la carretera dentro del paisaje, mitigando una parte de los impactos negativos que la obra tendrá dentro del entorno.
- Generar condiciones agradables de circulación para los usuarios al disminuir la monotonía generada por la superficie de rodadura.
- Proteger en parte la integridad de la obra ante los efectos derivados de los procesos de erosión y depósito.
- Anticipar a los conductores sobre la presencia de cambios en el alineamiento horizontal y vertical, y la presencia de intersecciones o paso por zonas pobladas.

Cabe anotar que la siembra de especies vegetales no exime en ningún momento del uso de dispositivos de control de tránsito según se requieran.

A continuación se ofrecen algunos criterios para la selección del tipo y ubicación de especies vegetales:

- La definición de las especies dependerá de lo definido en los Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental respectivos para el sector.
- Su ubicación no debe generar riesgo para la operación vehicular, ni por disminución en la visibilidad ni por constituirse en elementos de alta susceptibilidad ante colisiones. En este sentido, en las curvas horizontales, la ubicación de árboles se hará únicamente en su parte exterior
- En el caso de intersecciones a nivel o a desnivel, las especies vegetales pueden corresponder a lo descrito en el numeral 8.2.1.

8.3.7. Proceso constructivo

A continuación se ofrecen algunas recomendaciones importantes a tener en cuenta en el proceso constructivo de la carretera, pero que deben ser tenidas en cuenta a partir de las primeras etapas del diseño:

- Se deberá procurar realizar mayores afectaciones al entorno natural que las estrictamente previstas en el proceso de diseño.

- Todo el proceso de recuperación o mitigación de los impactos negativos al entorno deberá estar debidamente estipulado en los Planes de Manejo Ambiental del proyecto.
- Como norma general, todo proceso tendiente a la recuperación de las especies y en general de la cobertura vegetal debe ser realizada dando prioridad al uso de las propias de la zona, y en lo posible, recuperando las capas orgánicas y especies producto de la actividad de Descapote, aportando de igual manera a la disminución de los costos del proyecto.
- El establecimiento de zonas de préstamos y disposición de materiales para Explanación deberá cumplir con todos los requerimientos de tipo técnico y legal vigentes al momento de la construcción de la carretera.

CAPÍTULO 9

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL DISEÑO GEOMÉTRICO



CAPITULO 9. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

9.1. ASPECTOS GENERALES

Para tener un verdadero control de la calidad del diseño geométrico de una carretera, se debe asociar a cada actividad del proceso de diseño dos tipos de controles: el control de producción y el control de recepción. El control de producción (CP), por tratarse de un control interno, lo realiza el responsable de la actividad. El control de recepción (CR), caracterizado como un control externo y ejercido en el tránsito de una actividad a otra, donde hay un traspaso de responsabilidades, debe ser realizado por el receptor, generalmente el interventor del correspondiente estudio.

9.1.1. Control de producción

El diseño geométrico de carreteras involucra dos tipos de controles: un autocontrol realizado por cada uno de los individuos a lo largo de su labor productiva y un control interno independiente que se ejerce, dentro de la organización encargada del diseño geométrico de la carretera, por parte de representantes de la organización que, sin participar en el proceso de desarrollo del proyecto, se dedican exclusivamente a la labor de controlar. El control interno independiente puede ser propio o contratado.

La sección encargada del control y la sección encargada de la producción se deben mantener totalmente independientes y no debe haber relación de jerarquía entre una y otra a ningún nivel, excepto en la parte superior del proceso donde, por razones obvias, ambas confluirán en la persona de mayor jerarquía de la organización. Si no se cumple esta regla es la calidad la perjudicada, ya que las decisiones de producción se consideran prioritarias.

9.1.2. Control de recepción

Lo debe realizar, en cada etapa del proceso de desarrollo del diseño geométrico de la carretera, la persona que recibe el producto parcial de la etapa anterior, quien generalmente es el interventor externo seleccionado para tales efectos. Por lo tanto, esta modalidad de control y la correspondiente al control de producción siempre serán totalmente independientes.

9.1.3. Control de diseño del servicio o de la elaboración de la propuesta técnica

El aseguramiento de la calidad del diseño geométrico de una carretera se inicia con el control del diseño del servicio o de la elaboración de la propuesta técnica para su realización. En el caso de los servicios de consultoría para el diseño de la

carretera o la interventoría del mismo, se deben establecer con toda claridad los siguientes tres puntos:

- Especificación del servicio que se prestará; es decir, se debe responder a la pregunta ¿Qué servicio se va a prestar?
- Especificación de la prestación de ese servicio, definiendo los medios y métodos para prestarlo; es decir, se debe responder a la pregunta ¿Cómo se va a prestar?
- El control de la calidad de las características del servicio y de su prestación; es decir se debe responder a la pregunta ¿Cómo se van a controlar la prestación y el cumplimiento del servicio?

Al revisar la propuesta técnica para el diseño geométrico de una carretera se deben examinar los siguientes aspectos:

a) La planificación del diseño y del desarrollo, que comprende:

- Planificación de las diferentes actividades de diseño.
- Asignación de responsables de cada actividad.
- Asignación de personal calificado y de recursos necesarios para el correcto desarrollo de cada actividad.
- Establecimiento de un sistema efectivo de comunicación, tanto interna como con la entidad dueña del proyecto.
- Documentación de los procedimientos de verificación y control.
- Cronograma de actividades.
- Establecimiento de puntos de control para las diferentes actividades.
- Establecimiento de revisiones formales al terminar cada fase del diseño.

b) Las interrelaciones organizacionales y técnicas. La propuesta de la estructura organizacional debe contemplar:

- Las funciones que contribuyen a las actividades de diseño y sus relaciones internas.
- Las actividades de coordinación entre los diferentes profesionales y asesores para el adecuado desempeño de los grupos de trabajo.

Para que los miembros de la organización propuesta puedan efectuar un autocontrol de su trabajo, se debe examinar cuidadosamente que cuando el grupo esté laborando se satisfagan las tres condiciones siguientes:

- Cada uno de los miembros del grupo profesional y técnico propuesto sabe exactamente lo que tiene que hacer.
 - Cada uno de los miembros del grupo sabe lo que está haciendo.
 - Cada miembro del grupo está en capacidad de actuar adecuadamente cuando las dos condiciones anteriores no coinciden. Para esto va a estar dotado con la suficiente autoridad y capacidad de decisión, que le permita actuar cuando se presentan discrepancias entre lo que está haciendo y lo que se tendría que hacer.
- c) Entrada del diseño, constituida por las especificaciones y términos de referencia proporcionados por la entidad dueña del proyecto. Se debe coordinar la elaboración de un documento resumen de las especificaciones y requisitos contractuales, que sirva de referencia y permita unificar los criterios de los diferentes grupos de trabajo, para el cual se estipulan los mecanismos de revisión y aprobación.
- d) Salida del diseño, constituida por los planos, las especificaciones y los documentos técnicos que serán utilizados en las posteriores etapas del proyecto. Se debe verificar el establecimiento de mecanismos para su revisión, verificación, validación y cambios, así:
- Revisión del diseño. Fases o etapas del diseño para efectuar revisiones formales al finalizar cada una de ellas; mecanismos para la identificación de posibles problemas y el establecimiento de las acciones preventivas o correctivas del caso; tipo de documento para el registro de la revisión y su contenido.
 - Verificación del diseño (o cumplimiento de los términos de referencia, de los requisitos establecidos y de los datos de entrada). Procedimientos para la revisión de las metodologías utilizadas y de los cálculos realizados; tipos de documentos para el registro de la verificación y su contenido.
 - Validación del diseño (de tramos o terraplenes de prueba, que se someten al uso real u otro medio de simulación que imite las condiciones de trabajo, por ejemplo). Tipos de documentos para el registro de la validación y su contenido.
 - Cambios en el diseño (cambios en las condiciones de entrada). Procedimientos para la identificación, registro, revisión y aprobación de los cambios; tipo de documento para el registro de los cambios y su contenido;

mecanismos para la eliminación de documentos, planos y especificaciones obsoletos y para la verificación de la ejecución de los cambios autorizados.

9.2. NIVELES DE CALIDAD

Al analizar la calidad del diseño geométrico de una carretera se deben examinar los siguientes tres aspectos:

- Solución propuesta, expresada por la calidad de las bases cartográficas empleadas y de los aspectos técnicos, funcionales, estéticos y ambientales contemplados en el diseño.
- Descripción de la solución, expresada a través del contenido de los informes, esquemas, planos y especificaciones.
- Justificación de la solución, expresada por la descripción de la metodología aplicada, las memorias de cálculo, los anexos aclaratorios y las explicaciones pertinentes.

Los niveles de calidad aplicables al diseño geométrico de una carretera, son:

a) Nivel 1. Aplicable a la Fase 1. Pre – Factibilidad. Está caracterizado por los siguientes parámetros:

- Existe una descripción clara y sencilla de la metodología empleada en el estudio de cada uno de los aspectos del diseño geométrico.
- Los cálculos relacionados con el estudio de los diferentes aspectos del diseño geométrico son consistentes y claramente entendibles.
- El informe del diseño geométrico es ordenado, comprensible y completo.
- Las soluciones escogidas en relación con cada uno de los aspectos del diseño geométrico están de acuerdo con la práctica común.

b) Nivel 2. Aplicable a la Fase 2. Factibilidad y la Fase 3. Diseños definitivos, y se caracteriza por:

- El estudio de cada uno de los aspectos del diseño geométrico se realiza de acuerdo con las últimas prácticas recomendables y sin perder la visión de conjunto al analizar en detalle cada uno de ellos.
- Las metodologías empleadas son claras, completas y comprensibles.
- Se adelantan estudios de apoyo necesarios para la definición de aspectos importantes del diseño geométrico.

- Las definiciones importantes se muestran a través de cuadros, esquemas y figuras, con el suficiente nivel de detalle.
- Los aspectos decisivos para la calidad se revisan minuciosamente.
- El diseño geométrico, durante su desarrollo y en su etapa final, es revisado por expertos.

9.3. CONTROL DE PROCESOS

9.3.1. Enfoque sistémico

Para llevar a cabo la estructuración e implementación de los procesos relacionados con la actividad del diseño geométrico de carreteras, se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

- Identificación de los procesos. En el sistema de gestión de la calidad de la organización existen procesos que ponen a disposición de los demás procesos algún tipo de recurso o plantean directrices a los demás (procesos de conducción) tales como los de direccionamiento estratégico, administrativo y financiero y control de gestión; otros, de servicio o apoyo, que sirven de soporte para uno o más procesos, como los de compras, talento humano, sistemas, mantenimiento de equipos y almacenamiento. Sin embargo, para efectos del control del diseño geométrico de carreteras, es necesario identificar los procesos que convierten entradas en salidas de mayor valor para los clientes externos, llamados procesos de realización.
- Determinación de la secuencia, interacción y descripción de los procesos. El proveedor del servicio de diseño debe representar los procesos de realización de manera secuencial y correlacionarlos con los diversos grupos de procesos. Esto permite determinar la interacción de los procesos y realizar la descripción que incluye las actividades realizadas y las interrelaciones de estas actividades. La descripción incluye las entradas y salidas de cada proceso, quién entrega qué y a quién se le entrega el resultado de la ejecución de la actividad. De igual manera, se determinan los diferentes criterios de control de cada una de las actividades por desarrollar y finalmente se establecen los registros que evidencian el cumplimiento de la realización de tales actividades.
- Determinación de la medición de los procesos. Cada proceso debe tener un indicador de su gestión, el cual se define en función del propósito del proceso. Los indicadores se deben evaluar periódicamente para ser incluidos en un informe de gestión mensual. Los indicadores pueden ser de desempeño, los cuales evalúan el cumplimiento de la responsabilidad del proceso (cumplimiento de especificaciones técnicas, de requisitos contractuales del cliente, del programa de auditorías, etc.); de eficiencia del proceso, los cuales evalúan los recursos asignados (cumplimiento del programa de trabajo

establecido para el desarrollo del proyecto); de gestión, el cual determina qué tan efectivo es el proceso para cumplir con el propósito encomendado (satisfacción del cliente, mejoramiento de la competencia del personal de la organización).

En la Tabla 9.1 se presenta un modelo que refleja la estructura de los procesos de la organización.

9.3.2. Criterios generales de control

9.3.2.1. Especificaciones

Las especificaciones de diseño geométrico son todos aquellos parámetros numéricos, criterios y requisitos sobre los cuales se basa el diseño. En relación con los parámetros numéricos, se debe considerar:

- Establecer cuáles son necesarios.
- Obtenerlos de las fuentes adecuadas.
- Conseguir aquellos que no estén disponibles directamente
- Obtener y registrar la fuente del dato
- Comprobar y actualizar su validez con periodicidad

Se consideran parámetros numéricos aquellos que al mismo tiempo satisfacen las siguientes condiciones:

- Son externos a la actividad, es decir, no son un resultado intermedio o una derivación interna lógica.
- Son necesarios. Aquellos que son irrelevantes no se deben registrar.
- Son directamente aplicables al diseño geométrico.
- Son obligatorios. El diseñador debe tener en cuenta los criterios geométricos establecidos en el presente Manual.

9.3.2.2. Procesamiento de la información numérica

Para el control del procesamiento de la información numérica propia de un diseño geométrico, tanto de campo como de oficina, se debe adoptar uno de los siguientes métodos:

- Control total directo. Se revisan todos los procedimientos siguiendo el método empleado por el diseñador.

Tabla 9.1.
Modelo para la caracterización de procesos relacionados con el diseño geométrico de carreteras

LOGO DE LA ORGANIZACIÓN	[NOMBRE DEL PROCESO]					Versión: Fecha:		
OBJETIVO DEL PROCESO:		RESPONSABLE DEL PROCESO:	POLÍTICA:	INDICADOR:	META:			
PROCESO PROVEEDOR	ENTRADAS AL PROCESO	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD	REGISTRO	CRITERIOS DE CONTROL	SALIDA DEL PROCESO	CUENTE DEL PROCESO
ELABORÓ:		REVISÓ:	APROBÓ:	RECURSOS:	DOCUMENTOS DE REFERENCIA:			

- Control total paralelo. El control se hace sin tener a la vista los procedimientos y cálculos originales y empleando métodos abreviados.

Si el procesamiento se lleva a cabo con la ayuda de programas de computador se debe extremar la exigencia y solicitar:

- Información amplia y detallada sobre los programas de computador empleados.
- Descripción de los procedimientos, con indicación y explicación de las expresiones matemáticas en que se basan.
- Simplificaciones adoptadas.
- Información de entrada.
- Información de salida.
- Convención de signos, unidades, etc.

9.3.2.3. Informes y planos

En la revisión de los informes y planos se deben tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- Presentación correcta (que contenga todos los aspectos propios del diseño geométrico de una carretera) sin lugar a confusiones o a interpretaciones erróneas.
- La información que se presente debe estar de acuerdo con los procedimientos numéricos que la soportan.
- Los detalles de todos aquellos aspectos que faciliten la ejecución del proyecto se presenten con la debida claridad y profundidad.
- No omitir detalles necesarios para la adecuada definición y ejecución del proyecto en su fase de construcción.

9.4. CONTROL DE INFORMES

9.4.1. 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.

9.4.1.1. Proyecto de una carretera Primaria

9.4.1.1.1. Informe de Fase 1. Pre – Factibilidad

El volumen correspondiente al diseño geométrico llevado a cabo en la Fase 1, debe incluir, 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.
- Resumen del estudio de tránsito.
- 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 (V_{TR}).
- Resumen del análisis de Capacidad y Nivel de Servicio para el tramo representativo de cada corredor.
- Resumen de la evolución económica con el Modelo HDM-4.
- Conclusiones y recomendaciones
- Anexos:
 - Cartera de la poligonal trazada a lo largo de la línea de pendiente para la elaboración del croquis de los corredores de ruta estudiados, con sus referencias.

9.4.1.1.2. Informe de Fase 2. Factibilidad

El volumen correspondiente al diseño geométrico llevado a cabo en la Fase 2, debe incluir, como mínimo, lo siguiente:

- Descripción general de la carretera.
 - Introducción y/o antecedentes del estudio.

- Ubicación geográfica y características socioeconómicas de la zona de influencia de la carretera.
- 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 (V_{TR}) asignada a cada tramo.
 - Cuadro con la Velocidad Específica (V_{CH}) 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.
 - Cartera de localización del eje en planta con las coordenadas de cada abscisa del eje del proyecto, para tramos rectos y en curva.

- Cartera preliminar de rasante de la calzada, con la siguiente información:
 - Abscisa y cota del vértice (PIV) de cada curva vertical.
 - Pendiente de las tangentes verticales.
 - Longitud de las curvas verticales.
 - Pendiente de la corona a cada lado del eje de la carretera.
 - Cota en el eje, en los bordes de la calzada y en los bordes de las bermas.
- Dibujo preliminar de las secciones transversales cada diez metros (10 m) y en los puntos principales del eje en planta
- Movimiento de tierras. Cartera de cubicación preliminar.
- Anexos
 - Cartera de coordenadas de las bases topográficas.
 - Carteras de localización para el eje definitivo en planta.
 - Plano de ubicación de la vía localizada, que contenga la siguiente información:
 - Mapa del departamento ó zona administrativa del país, con la ubicación de la capital, de la vía localizada y de los principales municipios cercanos a la misma.
 - Vías de acceso a la vía localizada.
 - Poblaciones o sitios que une la vía localizada.
 - Ríos principales que atraviesa la vía localizada.
 - Plano reducido a escala 1:10.000, donde se localicen los planos que contiene el estudio.
 - Planos Planta-Perfil, preferiblemente en escala horizontal 1:1.000 y vertical 1:100.
 - Plano con el dibujo preliminar de las secciones transversales en escala 1:100.

- Planos topográficos en planta y perfil de los sitios de ponederos, para obras de drenaje de luces mayores a cinco metros (5.0 m), a escalas horizontal y vertical 1:500.

9.4.1.1.3. Informe de Fase 3. Diseño definitivo

El volumen correspondiente al diseño geométrico llevado a cabo en la Fase 3, debe incluir, como mínimo, lo siguiente:

- Descripción general de la carretera
 - Introducción y/o antecedentes del estudio.
 - Ubicación geográfica y características socioeconómicas de la zona de influencia de la carretera.
- Trabajos topográficos
 - Localización del eje de la carretera.
 - Referencias para replanteo del eje con su registro fotográfico.
 - Topografía adicional para completar el modelo topográfico.
- Parámetros generales adoptados para el diseño geométrico
 - Identificación de los tramos homogéneos a lo largo del corredor de ruta.
 - Velocidad de diseño (V_{TR}) asignada a cada tramo.
 - Cuadro con la Velocidad Específica (V_{CH}) 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 el replanteo del eje de la carretera
 - Coordenadas de las bases de topografía a lo largo del corredor de ruta.
 - Cotas de los B.M.

- Cartera de localización del eje.
- 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.
- Carteras de curva – masa con sus diagramas y análisis correspondientes.

9.4.1.2. 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 (V_{TR}).
- 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 (V_{TR}) asignada a cada tramo.
 - Cuadro con la Velocidad Específica (V_{CH}) 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.

9.4.2. Modelos básicos de carteras y planos

9.4.2.1. Modelos de carteras

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.

A continuación se presentan los modelos básicos de los registros de campo indicados:

[LOGO DE LA EMPRESA]	FORMATO CARTERA DE LÍNEA DE PENDIENTE		
	Código:	Versión:	Página 1 de X

CARTERA DE LÍNEA DE PENDIENTE

NOMBRE DEL PROYECTO:	
UBICACIÓN:	FECHA:

PUNTOS	ABSCISAS	PENDIENTE LONGITUDINAL	AZIMUT	COORDENADAS (G.P.S.)	
				NORTE	ESTE
RESPONSABLE:					

[LOGO DE LA EMPRESA]	FORMATO CARTERA DE NIVELACIÓN		
	Código:	Versión:	Página 1 de X

CARTERA DE NIVELACIÓN

NOMBRE DEL PROYECTO:	
UBICACIÓN:	FECHA:

PUNTO	VISTA ATRÁS (+)	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA ADELANTE (-)	VISTA INTERMEDIA (-)	COTAS	OBSERVACIONES
RESPONSABLE:						

[LOGO DE LA EMPRESA]	FORMATO CARTERA DE RASANTE	
	Código:	Versión: Página 1 de X

CARTERA DE RASANTE

NOMBRE DEL PROYECTO:	
UBICACIÓN:	FECHA:

[illegible]

[LOGO DE LA EMPRESA]	FORMATO CARTERA CUBICACIÓN		
	Código:	Versión:	Página 1 de X

CARTERA DE MOVIMIENTO DE TIERRA

NOMBRE DEL PROYECTO:	
UBICACIÓN:	FECHA:

[illegible][illegible]

[LOGO DE LA EMPRESA]	FORMATO CARTERA DE CHAFLANES		
	Código:	Versión:	Página 1 de X

CARTERA DE CHAFLANES

NOMBRE DEL PROYECTO:	
UBICACIÓN:	FECHA:

ABSCISA	COTA TERRENO	COTA RASANTE	PENDIENTE	LONGITUD CURVA VERTICAL	SOBREANCHO	CHAFLANES		
						IZQUIERDA	CENTRO	DERECHA
RESPONSABLE:								

9.4.2.2. 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 de los PIVs, 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:

- Generales

- En lo posible se debe presentar en un mismo plano el perfil longitudinal y la planta, con el fin de facilitar el análisis del diseño geométrico y la coordinación Planta - perfil.
- Tanto en la planta como en el perfil longitudinal se deben localizar y representar las diferentes obras de drenaje, así como las estructuras y eventualmente los túneles, identificándolos adecuadamente.

- 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. Asimismo 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
- En los planos de planta y perfil general, así como en los de intersecciones, se deben representar los puntos de referencia de nivel o bases de localización que se establezcan para el replanteo de la obra.

- Diferencia de las pendientes de las tangentes de entrada y salida en el vértice, expresada en porcentaje (%).
- Representación de las pendientes de los alineamientos rectos, en tanto por ciento.

- Intersecciones

Los planos de las intersecciones se deben representar a la escala necesaria para que su conjunto se pueda apreciar en una única plancha con claridad, lo que permite su análisis funcional.

- Sección transversal tipo

Debe facilitar la identificación de los diferentes elementos del diseño geométrico transversal, así como de aquellos elementos relacionados con el proyecto que posean estructuras de pavimento específicas.

En este plano deben figurar los siguientes aspectos:

- Perfil transversal del terreno.
- Cota de rasante en el eje.
- Acotaciones de los anchos de corona, diferenciando los anchos del separador, calzada, carriles, berma, sobreancho y vías lentas o de adelantamiento, según sea el caso.
- Acotación de los peraltes.
- Acotación de los taludes en corte y terraplén. Si estos son variables a lo largo del trazado se deberán representar esquemáticamente por letras y hacer referencia en la memoria.
- En los proyectos en que figuren taludes diferentes en los distintos estratos del terreno, se deberá representar una línea imaginaria de separación que clarifique la definición del quiebre de los taludes.
- Detalle de las capas de la estructura del pavimento, con indicación del tipo y espesor de capa.
- Detalle de la sección transversal de los elementos del drenaje superficial y drenaje subterráneo longitudinal, reflejando su ubicación respecto al resto de los elementos.

- En las secciones de paso por zonas urbanas, además de lo anteriormente expuesto se deben reflejar los elementos propios de dicha sección: sardineles, aceras, etc.
- 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.

Adicional a todo lo anterior, se deben tener en cuenta los siguientes elementos comunes para todos los planos:

- Para facilitar la comprensión de los planos se aceptará el uso de diversos colores, intensidades y tipos de línea para diferenciar elementos o grupos de elementos.
- Se aceptará el uso de diferentes tamaños de textos, siempre y cuando su uso obedezca al establecimiento de jerarquías para la información presentada. Para todos los casos se podrá emplear una altura mínima de textos de dos punto cinco milímetros (2.5 mm).
- Cabe anotar que no se recomienda realizar variaciones en las escalas entre grupos de planos, a fin de evitar confusiones en la interpretación de la información.
- Como dimensiones máximas de papel para todos los planos se aceptarán las siguientes:
 - Ancho: mil milímetros (1000 mm).
 - Altura: setecientos milímetros (700 mm).

A manera de formatos de presentación, se deben consultar los planos de las Figuras 9.1 a 9.3, que se incluyen en formato AutoCAD en la versión digital del presente Manual.

9.5. CONTROL DE CALIDAD FINAL

Después de efectuar un control riguroso a las especificaciones de diseño geométrico, al procesamiento de la información numérica y a los informes y los planos, se debe proceder a examinar la calidad del diseño geométrico en conjunto, para lo cual se debe preparar la siguiente información:

- Perfil de curvatura a lo largo de la carretera.
- Perfil de velocidad a lo largo de la carretera.
- Perfil de visibilidad a lo largo de la carretera.
- Perfil de “intensidad de la lluvia / $\sum$ área sección transversal estructuras de drenaje”, por kilómetro de carretera.
- Curva de Peraltes Vs. Radios realmente aplicados en el diseño.
- Capacidad de cada uno de los diferentes tramos homogéneos de la carretera.
- Capacidad de las intersecciones.

- En proyectos de mejoramiento se debe comparar la Capacidad sin mejoramiento Vs. Capacidad con mejoramiento, evaluada en tramos característicos de la carretera.

El análisis de los elementos indicados se debe registrar en un Informe de Control Final del Diseño.

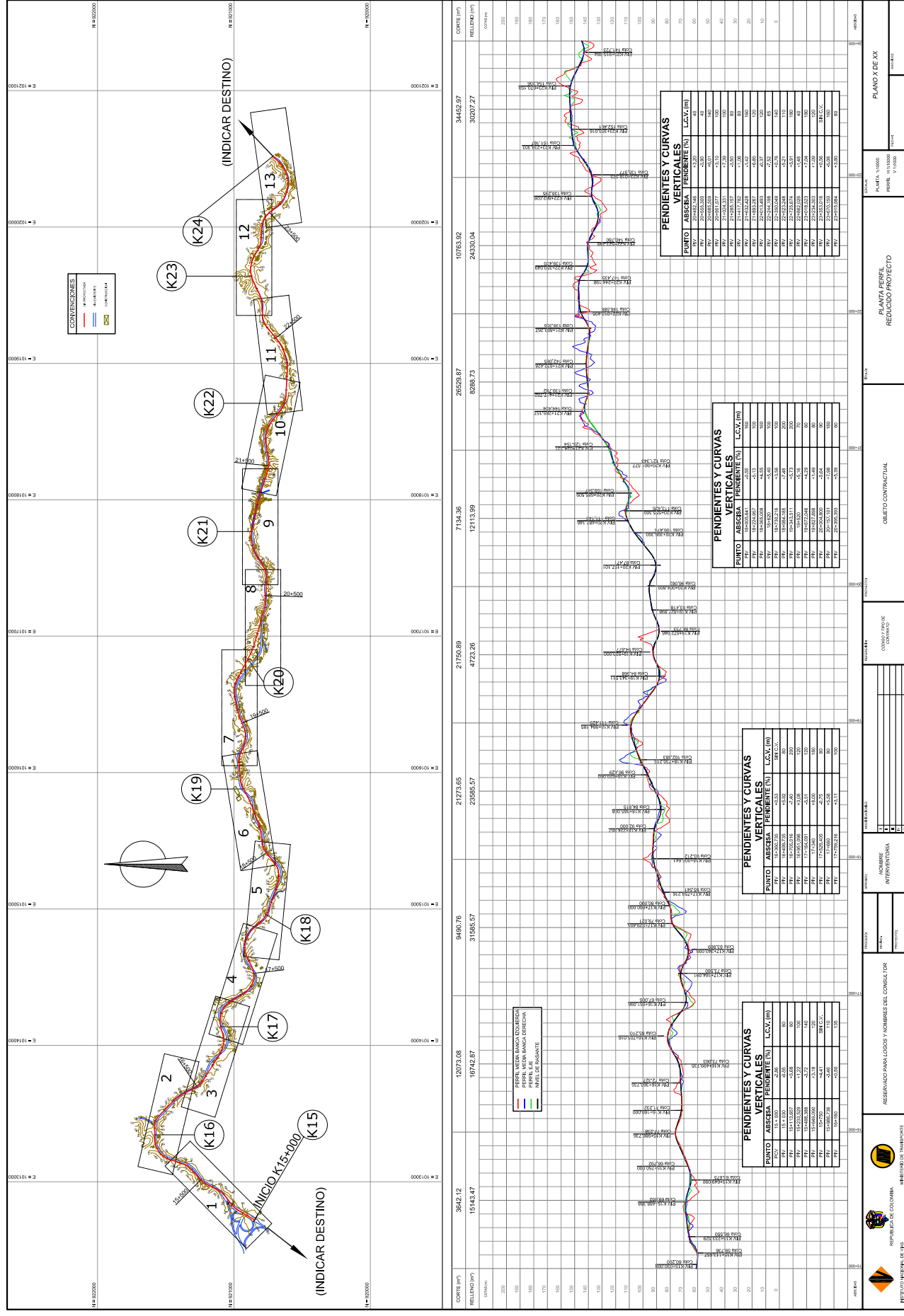


Figura 9.1. - Esquema general del plano planta - perfil reducido de la vía

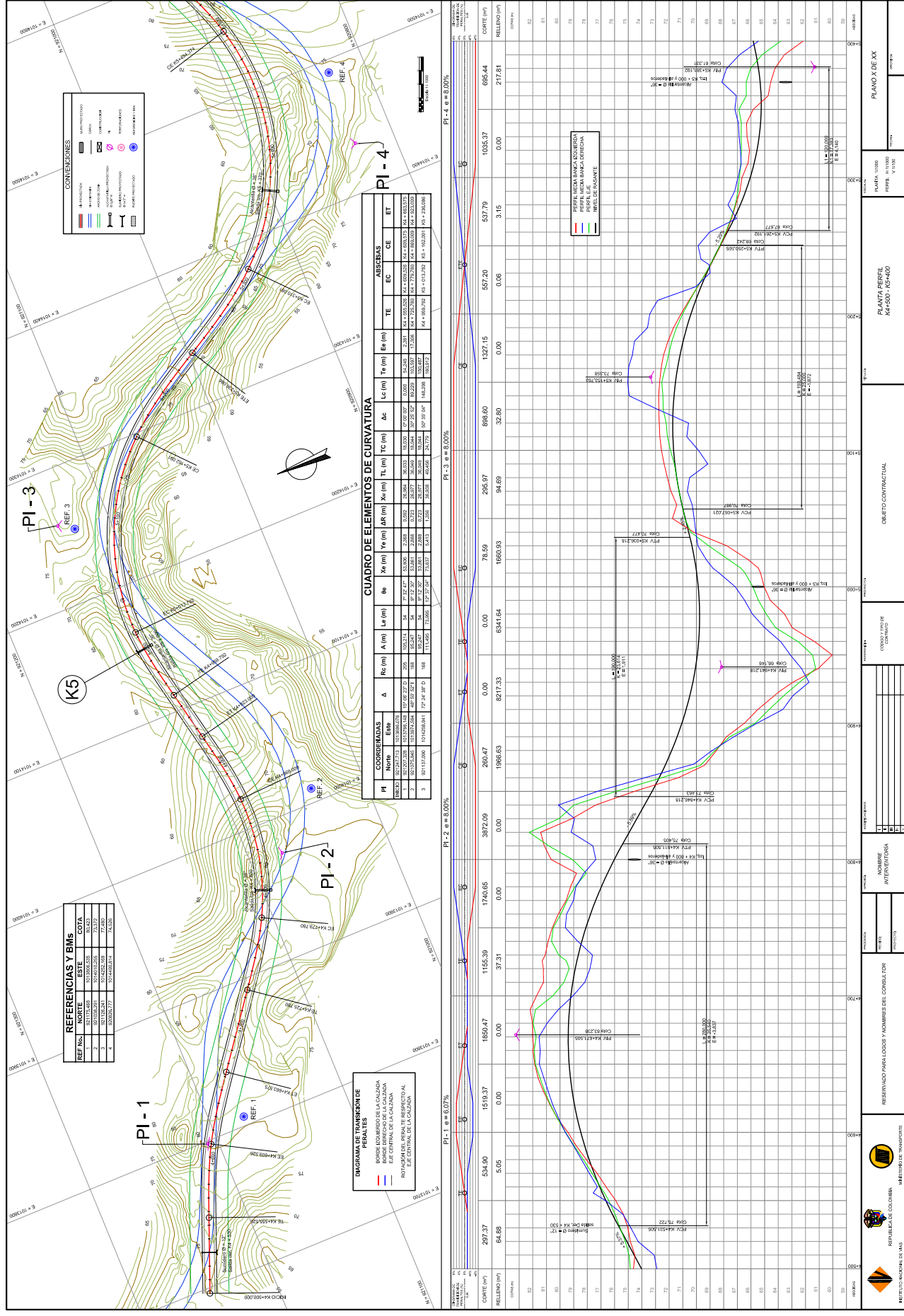


Figura 9.2. - Esquema general del plano planta - perfil de detalle de la vía

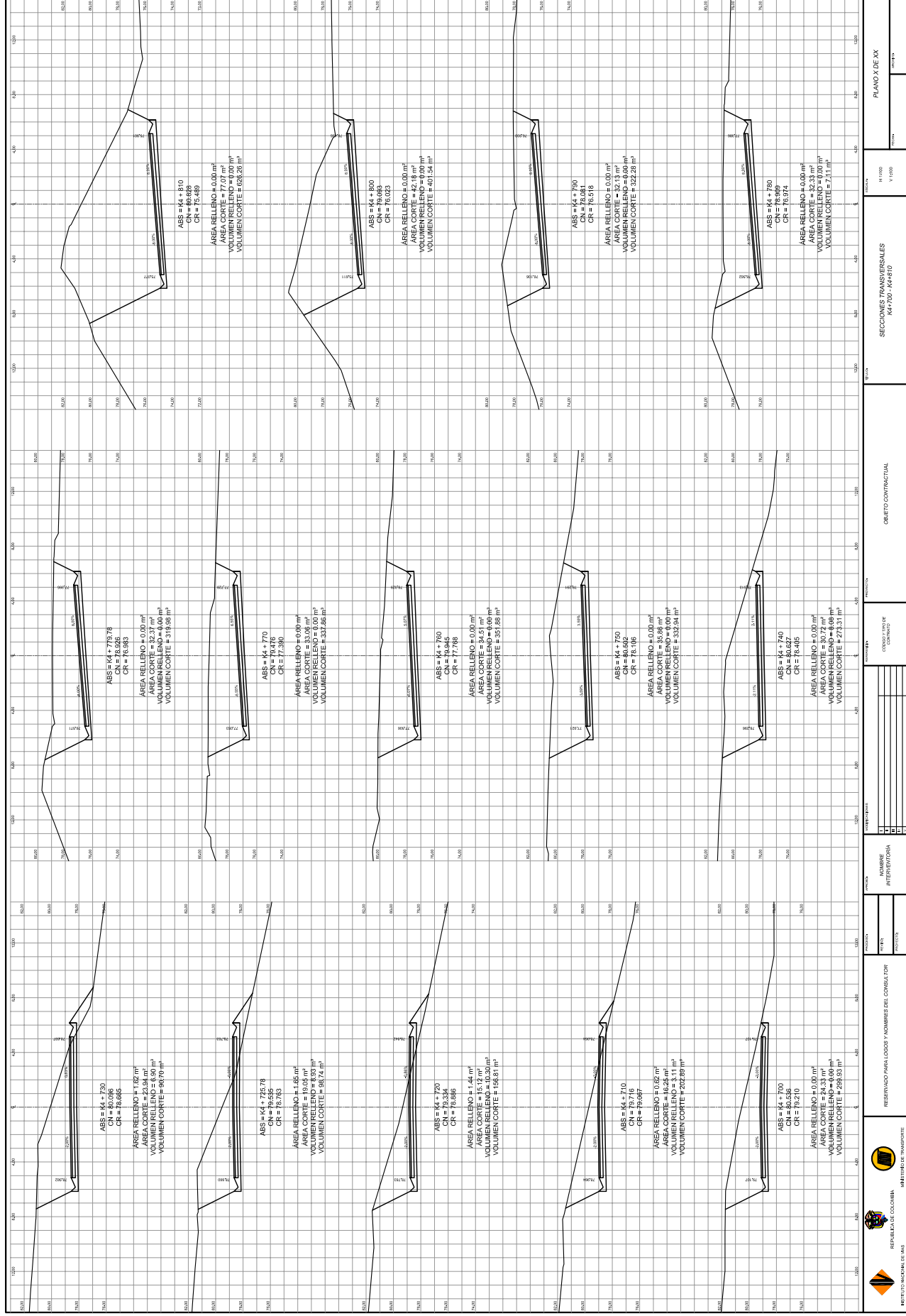


Figura 9.3. - Esquema general del plano de secciones transversales

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A efectos de una adecuada comprensión del documento y de minimizar las diferencias conceptuales entre quienes lo consulten, se entrega a continuación la descripción de los principales términos empleados a lo largo del mismo salvo los que sea necesario explicar con detalle en cada capítulo:

- **Alcantarilla.** Tipo de obra de cruce o de drenaje transversal, que tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino.
- **Banca.** Distancia horizontal, medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los bordes laterales.
- **Base de topografía.** Punto del corredor de ruta, de coordenadas x, y y z conocidas, que sirve como estación para el levantamiento topográfico de dicho corredor y eventualmente en las etapas de localización del proyecto.
- **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.** Pendiente transversal en las entretangencias horizontales de la vía, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua. Esta pendiente, va generalmente del eje hacia los bordes.
- **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.

- **Cuneta.** Zanjas, revestidas o no, construidas paralelamente a las bermas, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera. Su geometría puede variar según las condiciones de la vía y del área que drenan.
- **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 en 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 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.
- **Empalme básico.** Trayectorias horizontales que integran la curva horizontal. Un empalme básico puede ser circular, circular compuesto, espiral clotoide, espiral – círculo – espiral, espiral – espiral, espiral – espiral inversa y arco de espiral que une dos círculos de igual sentido.
- **Estudio de Impacto Ambiental.** Estudio cuya finalidad es la determinación detallada de los efectos producidos por el proyecto vial, la elaboración del Plan de Manejo Ambiental, y el cálculo de los costos de las obras de mitigación ambiental.
- **Gálibo.** Altura existente entre el fondo de viga y el fondo del lecho en el caso del cruce sobre ríos o esteros. En pasos a desnivel sobre un camino, es la

distancia entre la menor cota de fondo de vigas y la cota más alta del pavimento del camino sobre el cual se cruza.

- **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.
- **Línea 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.
- **Línea 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 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.
- **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.
- **Pavimento.** Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos.
- **Pavimento flexible.** Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado.
- **Pavimento rígido.** Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

- **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.** Inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. También contribuye al escurrimiento del agua lluvia.
- **Pontón.** Estructura de drenaje cuya luz medida paralela al eje de la carretera es menor o igual a diez metros (10 m).
- **Puente.** Estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, es mayor de diez metros (10 m).
- **Puerto seco.** Sitio geográfico existente en las divisorias de aguas entre vertientes. Generalmente se establecen como puntos de control secundarios para el trazado de corredores de ruta ya que corresponden a los lugares de menor cota, posibilitando la disminución de las pendientes y/o desarrollo del eje de la carretera.
- **Rasante.** Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la superficie de rodadura de la vía.
- **Replanteo.** Actividades topográficas encaminadas a localizar un proyecto vial en el terreno para su posterior construcción. Se apoya en los planos de diseño y en las bases de topografía empleadas previamente en el levantamiento del corredor vial.
- **Rocería.** Actividad de mantenimiento rutinario encaminada a mantener baja la vegetación de las zonas laterales de la vía.
- **Señalización vertical.** Placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.
- **Separador.** Zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales).

- **Sobreancho.** Aumento en la sección transversal de una calzada en las curvas, con la finalidad de mantener la distancia lateral entre los vehículos en movimiento.
- **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 (V_{TR}).
- **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.
- **Túnel.** Cavidad subterránea o subacuática que como solución vial implica una operación vehicular a cielo cerrado.
- **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.
- **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.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORT OFFICIALS. A policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C., 2004.

SECRETARÍA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PÚBLICAS. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. México, 1991.

MINISTERIO DE FOMENTO. Norma 3.1 – IC “Características geométricas. Trazado. Madrid, 1999.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Dirección de vialidad. Manual de Carreteras Volumen 3. Chile, 2002.

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO –ICPC. Notas Técnicas: Diseño de drenaje para carreteras. Serie 4. No. 27-1041. 1993. 18 p.

BRAVO, Paulo Emilio. Diseño de Carreteras. Técnicas y análisis del proyecto. 6ª ed. Bogotá: Cargraphics S.A., 1998. 397 p.

CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2002. 409p.

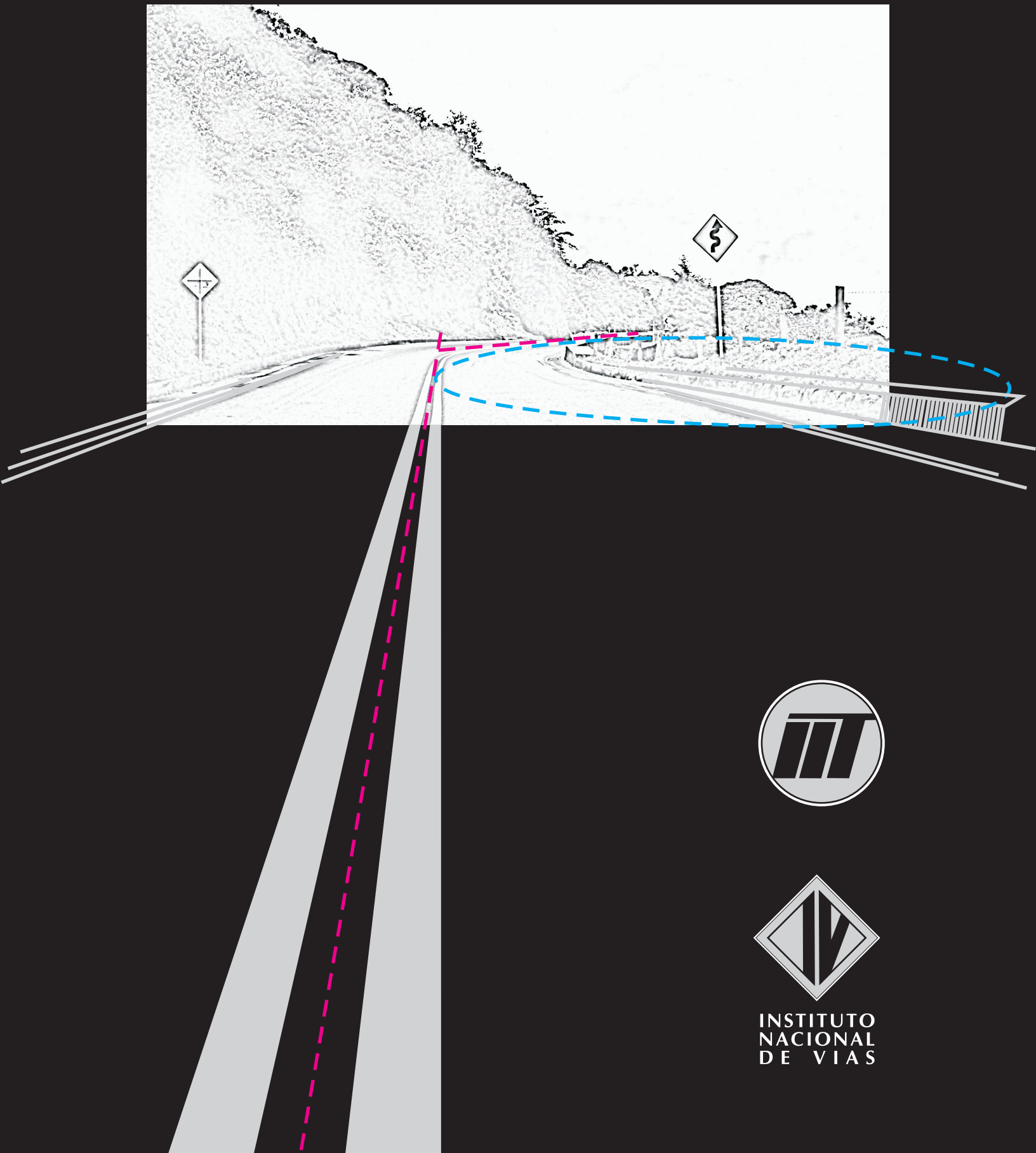
CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 210 p.

CAICEDO NAVARRETE, Nydia y ISAZA LONDOÑO, Jorge. ISO 9001 En Empresas de Ingeniería Civil. Bogota, D.C., Colombia: ICONTEC, 2007. 171 p.

ARBOLEDA VÉLEZ, Germán. Cálculo y diseño de Glorietas. AC editores. Santiago de Cali, 2000.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Código Colombiano para Diseño Sísmico de Puentes, Bogotá D.C., 1995.

ARBOLEDA, V. GERMAN. Vías Urbanas. AT Editores, Santiago de Cali, 1988.



INSTITUTO
NACIONAL
DE VÍAS