

*Segunda edición*

# Diseño geométrico de carreteras

**ECO E**  
EDICIONES

**James Cárdenas Grisales**



### **James Cárdenas Grisales**

Ingeniero Civil egresado de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Realizó estudios de posgrado, con título de Especialista en Vías Terrestres en el Instituto de Vías de la Universidad del Cauca; con título de Master of Science en Ingeniería de Tránsito en la University of Maryland, College Park, Maryland, USA; y con título de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Profesor titular jubilado de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, de las asignaturas Ingeniería de Tránsito, Trazado Geométrico de Vías, y Análisis y Diseño de Intersecciones Urbanas. Profesor de planta de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia, de los cursos Diseño Geométrico de Vías, Ingeniería de Tránsito y Diseño Avanzado de Vías. Profesor visitante, catedrático de los temas Ingeniería de Tránsito Avanzado y Diseño Geométrico de Vías Avanzado, en los programas de posgrado en Vías, Tránsito y Transporte, en la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia; en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia; en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; en la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia; en la Universidad del Sinú, Montería, Colombia; y en la Universidad de Cartagena, Colombia.

Profesor visitante internacional, de las cátedras de Ingeniería de Tránsito y Diseño Geométrico de Carreteras y Vías Urbanas, en los Cursos Intensivos de Transporte que se desarrollan en las Repúblicas de México y Venezuela.

Ingeniero consultor, asesor y diseñador de proyectos viales, de tránsito y transporte, en una diversidad de entidades públicas y privadas, en el ámbito local, regional, nacional e internacional.

# **Diseño Geométrico de Carreteras**

**James Cárdenas Grisales**

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
PRÓLOGO.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xxi

### Capítulo 1

LAS CARRETERAS.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS.....	3
1.2.1 Según su función.....	3
1.2.2 Según el tipo de terreno.....	3
1.2.3 Según su competencia.....	6
1.2.4 Según sus características.....	7
1.3 CONCEPTO TRIDIMENSIONAL DE UNA VÍA.....	7

### Capítulo 2

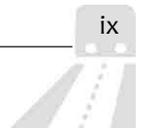
RUTAS Y LÍNEAS DE PENDIENTE.....	15
2.1 FASES DEL PROYECTO DE UNA CARRETERA.....	15
2.1.1 Fase 1. Prefactibilidad.....	15
2.1.2 Fase 2. Factibilidad.....	16
2.1.3 Fase 3. Diseños definitivos.....	17
2.2 SELECCIÓN DE RUTAS.....	18
2.3 EVALUACIÓN DEL TRAZADO DE RUTAS.....	20
2.4 LÍNEA DE PENDIENTE O DE CEROS.....	21
2.4.1 Concepto.....	21
2.4.2 Trazado de una línea de pendiente.....	22

2.5	PROBLEMAS PROPUESTOS.....	32
<b>Capítulo 3</b>		
	<b>DISEÑO GEOMÉTRICO HORIZONTAL: PLANTA.....</b>	<b>37</b>
3.1	CONCEPTOS.....	37
3.2	CURVAS CIRCULARES SIMPLES.....	38
	3.2.1 Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple.....	38
	3.2.2 Expresiones que relacionan los elementos geométricos.....	39
	3.2.3 Expresión de la curvatura de una curva circular simple.....	42
	3.2.4 Deflexión de una curva circular simple.....	48
	3.2.5 Relación entre las coordenadas planas y las coordenadas polares.....	55
	3.2.6 Otros métodos de cálculo y localización de curvas circulares simples.....	141
3.3	CURVAS CIRCULARES COMPUESTAS.....	145
	3.3.1 Curvas circulares compuestas de dos radios.....	145
	3.3.2 Curvas circulares compuestas de tres radios.....	159
3.4	ESTABILIDAD EN LA MARCHA, VELOCIDAD, CURVATURA, PERALTE Y TRANSICIÓN.....	174
	3.4.1 Velocidad de diseño.....	174
	3.4.2 Velocidad específica.....	176
	3.4.3 Desplazamiento de un vehículo sobre una curva circular.....	188
	3.4.4 Velocidad, curvatura, peralte y fricción lateral.....	192
	3.4.5 Transición del peralte.....	199
3.5	CURVAS ESPIRALES DE TRANSICIÓN.....	230
	3.5.1 Generalidades.....	230
	3.5.2 La espiral de Euler o Clotoide como curva de transición.....	233
	3.5.3 Ecuaciones de la Clotoide o espiral de transición.....	236
	3.5.4 Elementos de enlace de una curva circular simple con espirales de transición Clotoides iguales.....	242
	3.5.5 Longitud mínima de la espiral de transición.....	248
	3.5.6 Longitud máxima de la espiral de transición.....	254
	3.5.7 Longitud mínima de la curva circular central.....	254
3.6	ENTRETANGENCIAS HORIZONTALES.....	267

3.6.1	Entretangencia mínima.....	267
3.6.2	Entretangencia máxima.....	268
3.7	PROBLEMAS PROPUESTOS.....	268

## Capítulo 4

	DISEÑO GEOMÉTRICO VERTICAL: RASANTE.....	307
4.1	CONCEPTO.....	307
4.2	ELEMENTOS GEOMÉTRICOS QUE INTEGRAN EL ALINEAMIENTO VERTICAL.....	308
	4.2.1 Tangentes verticales.....	308
	4.2.2 Curvas verticales.....	313
4.3	GEOMETRÍA DE LAS CURVAS VERTICALES PARABÓLICAS.....	313
	4.3.1 Curvas verticales simétricas.....	313
	4.3.2 Curvas verticales asimétricas.....	323
	4.3.3 Coeficiente angular de una curva vertical.....	326
4.4	VISIBILIDAD EN CARRETERAS.....	358
	4.4.1 Principios.....	358
	4.4.2 Distancia de visibilidad de parada.....	358
	4.4.3 Distancia de visibilidad de adelantamiento.....	367
	4.4.4 Distancia de visibilidad de encuentro.....	371
	4.4.5 Evaluación de la visibilidad de un proyecto en planos.....	372
4.5	CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES.....	376
	4.5.1 Longitud mínima de las curvas verticales con visibilidad de parada.....	376
	4.5.2 Longitud mínima de las curvas verticales con visibilidad de adelantamiento.....	383
	4.5.3 Longitud mínima de las curvas verticales con comodidad en la marcha.....	385
	4.5.4 Longitud mínima de las curvas verticales con apariencia.....	386
	4.5.5 Longitud máxima de las curvas verticales con control por drenaje.....	386
	4.5.6 Longitud minimum de curvas verticales.....	387
4.6	PROBLEMAS PROPUESTOS.....	394



**Capítulo 5**

**DISEÑO GEOMÉTRICO TRANSVERSAL: SECCIONES, ÁREAS Y VOLÚMENES..... 405**

5.1 CONCEPTO..... 405

5.2 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS QUE INTEGRAN LA SECCIÓN TRANSVERSAL..... 405

5.3 SOBRE-ANCHO EN LAS CURVAS..... 410

    5.3.1 Vehículos rígidos..... 411

    5.3.2 Vehículos articulados..... 413

    5.3.3 Transición del sobre-ancho..... 416

5.4 SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS, POSICIÓN DE CHAFLANES Y ESTACAS DE CEROS..... 420

    5.4.1 Secciones transversales típicas..... 420

    5.4.2 Chaflanes o estacas de talud y estacas de ceros..... 420

    5.4.3 Posición de los chaflanes..... 423

5.5 ANCHOS DE BANCA Y ÁREAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES..... 424

    5.5.1 Anchos de banca..... 424

    5.5.2 Áreas de las secciones transversales..... 431

5.6 VOLÚMENES DE TIERRA: CUBICACIÓN..... 447

5.7 MOVIMIENTO DE VOLÚMENES DE TIERRA Y DIAGRAMA DE MASAS..... 462

    5.7.1 Transporte de material excavado..... 462

    5.7.2 Representación del diagrama de masas..... 463

    5.7.3 Factor de compensación en el movimiento de tierras..... 467

    5.7.4 Uso del diagrama de masas..... 468

5.8 PROBLEMAS PROPUESTOS..... 477

BIBLIOGRAFÍA..... 493

ÍNDICE TEMÁTICO..... 495

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Tipos de terreno.....	4
Tabla 2.1	Valores del inverso del coeficiente de tracción.....	21
Tabla 2.2	Puntos, abscisas y cotas a lo largo de las rutas.....	26
Tabla 3.1	Cartera de tránsito o localización de una curva circular simple derecha.....	63
Tabla 3.2	Cartera de tránsito o localización de una curva circular simple izquierda.....	67
Tabla 3.3	Cartera de tránsito o localización de curvas circulares simples de distinto sentido.....	72
Tabla 3.4	Cartera de tránsito o localización de curvas circulares simples del mismo sentido.....	78
Tabla 3.5	Cartera de deflexiones para la curva circular.....	101
Tabla 3.6	Cartera de coordenadas para localización de la curva circular.....	108
Tabla 3.7	Cuadro de localización y elementos de las curvas horizontales.....	115
Tabla 3.8	Cartera de localización de la curva compuesta de dos radios.....	153
Tabla 3.9	Velocidades de diseño de tramos homogéneos, $V_{TR}$ .....	176
Tabla 3.10	Velocidad específica de una curva horizontal $V_{CH}$ , incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño $V_{TR}$ .....	181
Tabla 3.11	Diferencia entre la velocidad específica de la última curva horizontal del tramo anterior y la primera curva horizontal del tramo analizado, en Km/h.....	184
Tabla 3.12	Radios para deflexiones pequeñas.....	188
Tabla 3.13	Coefficientes de fricción transversal máximos, $f_{Tmáx}$ .....	196
Tabla 3.14	Radios mínimos absolutos para peralte máximo $e_{máx}=8\%$ y fricción máxima, carreteras primarias y secundarias.....	196
Tabla 3.15	Radios mínimos absolutos para peralte máximo $e_{máx}=6\%$ y fricción máxima, carreteras terciarias.....	197
Tabla 3.16	Radios $R$ , según velocidad específica $V_{CH}$ y peralte $e$ , para $e_{máx}=8\%$ , carreteras primarias y secundarias.....	198
Tabla 3.17	Radios $R$ , según velocidad específica $V_{CH}$ y peralte $e$ , para $e_{máx}=6\%$ , carreteras terciarias.....	199
Tabla 3.18	Valores máximos y mínimos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada con respecto al eje.....	202
Tabla 3.19	Factores de ajuste por el número de carriles rotados.....	204
Tabla 3.20	Clotoide de parámetro $K=8$ .....	236

Tabla 3.21	Variación de la aceleración centrífuga.....	251
Tabla 3.22	Cartera de localización de la curva espiral-circular-espiral.....	264
Tabla 3.23	Cartera de localización de una curva circular por el método de las normales sobre la tangente.....	293
Tabla 3.24	Cartera de localización de una curva circular desde el <i>PC</i> y desde el <i>PI</i> .....	295
Tabla 4.1	Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo ( $V_{TR}$ ).....	310
Tabla 4.2	Relación entre la pendiente máxima (%) en función de la velocidad específica de la tangente vertical ( $V_{TV}$ ).....	310
Tabla 4.3	Longitud mínima de la tangente vertical.....	311
Tabla 4.4	Cartera de diseño de rasante, curva vertical convexa.....	331
Tabla 4.5	Cartera de diseño de rasante, curva vertical cóncava.....	333
Tabla 4.6	Coefficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos.....	364
Tabla 4.7	Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel.....	366
Tabla 4.8	Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente.....	367
Tabla 4.9	Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	370
Tabla 4.10	Mínimas distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	370
Tabla 4.11	Oportunidades de adelantar por tramos de 5 kilómetros.....	371
Tabla 4.12	Valores mínimos de $k_v$ para curvas verticales convexas y cóncavas con visibilidad de parada (criterio de seguridad).....	383
Tabla 5.1	Anchos recomendados de calzada en recta.....	407
Tabla 5.2	Anchos recomendados de bermas.....	408
Tabla 5.3	Valores recomendados para el bombeo.....	408
Tabla 5.4	Anchos mínimos recomendados de derechos de vía.....	410
Tabla 5.5	Dimensiones de los vehículos de tipo rígido en el cálculo del sobreancho.....	412
Tabla 5.6	Cartera de chaflanes en recta. Ejemplo 5.4.....	450
Tabla 5.7	Cartera de cubicación. Ejemplo 5.4.....	455
Tabla 5.8	Cartera de chaflanes y topografía. Ejemplo 5.5.....	455
Tabla 5.9	Áreas y volúmenes. Ejemplo 5.5.....	457
Tabla 5.10	Cartera de chaflanes. Ejemplo 5.6.....	458
Tabla 5.11	Cartera para elaborar la curva masa.....	469
Tabla 5.12	Cartera de chaflanes. Problema 5.2.....	477
Tabla 5.13	Cartera de chaflanes y topografía. Problema 5.3.....	479
Tabla 5.14	Cartera de chaflanes en recta. Problema 5.6.....	480
Tabla 5.15	Áreas. Problema 5.8.....	482
Tabla 5.16	Cartera de chaflanes y topografía. Problema 5.11.....	484
Tabla 5.17	Cartera de chaflanes y topografía. Problema 5.12.....	485

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Tipos de terreno en carreteras.....	6
Figura 1.2	Eje de una vía en el espacio tridimensional.....	10
Figura 1.3	Diseño geométrico en planta y en perfil del eje de una vía.....	12
Figura 2.1	Concepto de línea de pendiente.....	22
Figura 2.2	Línea de ceros en un plano.....	24
Figura 2.3	Estudio de rutas.....	25
Figura 2.4	Perfil longitudinal de rutas.....	26
Figura 2.5	Trazado de líneas de pendiente o de ceros.....	30
Figura 2.6	Perfil longitudinal de líneas de pendiente o de ceros.....	32
Figura 2.7	Estudio de rutas. Problema 2.1.....	33
Figura 2.8	Trazado de líneas de pendiente o de ceros. Problema 2.2.....	34
Figura 2.9	Pendiente ponderada máxima uniforme. Problema 2.3.....	35
Figura 3.1	Elementos geométricos de una curva circular simple.....	39
Figura 3.2	Curvatura por el sistema arco-grado.....	42
Figura 3.3	Curvatura por el sistema cuerda-grado.....	45
Figura 3.4	Relación entre los sistemas arco-grado y cuerda-grado.....	46
Figura 3.5	Concepto de ángulo de deflexión.....	49
Figura 3.6	Deflexión de una curva circular. Caso particular.....	51
Figura 3.7	Deflexión de una curva circular. Caso general.....	54
Figura 3.8	Coordenadas planas y coordenadas polares.....	56
Figura 3.9	Curva circular simple derecha.....	59
Figura 3.10	Curva circular simple izquierda.....	64
Figura 3.11	Curvas circulares simples de sentido contrario.....	68
Figura 3.12	Ejemplo 3.6.....	73
Figura 3.13	Deflexiones de curvas circulares simples del mismo sentido.....	74
Figura 3.14	Ejemplo 3.7.....	77
Figura 3.15	Curvas circulares simples del mismo sentido.....	79
Figura 3.16	Distancia entre los centros de las curvas.....	81
Figura 3.17	Curvas circulares de igual radio y entretangencia dada.....	82
Figura 3.18	Curva circular simple tangente a tres alineamientos.....	85
Figura 3.19	Ejemplo 3.10.....	88
Figura 3.20	Curva de radio dado y PI inaccesible.....	88
Figura 3.21	Ejemplo 3.11.....	91
Figura 3.22	Curva de tangente dada y PI inaccesible.....	91
Figura 3.23	Ejemplo 3.12.....	94

Figura 3.24	Curvas circulares de tangentes paralelas.....	95
Figura 3.25	Ejemplo 3.13.....	96
Figura 3.26	Coordenadas del centro de una curva circular.....	97
Figura 3.27	Ejemplo 3.14.....	99
Figura 3.28	Vías que se interceptan.....	100
Figura 3.29	Cálculo de una curva circular por coordenadas.....	103
Figura 3.30	Ejemplo 3.16.....	109
Figura 3.31	Localización de curvas horizontales circulares simples.....	110
Figura 3.32	Desplazamiento paralelo de la tangente de salida.....	116
Figura 3.33	Ejemplo 3.18.....	118
Figura 3.34	Ecuación de empalme curva a curva.....	119
Figura 3.35	Ejemplo 3.19.....	121
Figura 3.36	Ecuación de empalme curva a recta.....	121
Figura 3.37	Ejemplo 3.20.....	124
Figura 3.38	Ecuación de empalme entre una variante y una vía antigua.....	126
Figura 3.39	Ejemplo 3.21.....	129
Figura 3.40	Ecuación de empalme por desplazamiento de la tangente común.....	130
Figura 3.41	Ejemplo 3.22.....	134
Figura 3.42	Ecuación de empalme por rotación de la tangente común.....	134
Figura 3.43	Ejemplo 3.23.....	138
Figura 3.44	Ecuación de empalme entre dos vías inicialmente paralelas.....	139
Figura 3.45	Cálculo de una curva circular simple por normales a la tangente.....	142
Figura 3.46	Cálculo de una curva circular simple desde el PI.....	143
Figura 3.47	Curva circular compuesta de dos radios.....	146
Figura 3.48	Ejemplo de una curva circular compuesta de dos radios.....	149
Figura 3.49	Ejemplo 3.25.....	154
Figura 3.50	Ecuación de empalme con curvas circulares simples y compuestas.....	156
Figura 3.51	Elementos de una curva circular compuesta de tres radios.....	160
Figura 3.52	Caso general de una curva circular compuesta de tres radios.....	163
Figura 3.53	Casos de curvas circulares compuestas de tres radios.....	165
Figura 3.54	Ejemplo de una curva circular compuesta de tres radios.....	167
Figura 3.55	Ejemplo 3.27.....	169
Figura 3.56	Curvas circulares compuestas de dos y tres radios.....	171
Figura 3.57	Efecto de la inclinación transversal de la calzada sobre un vehículo circularando en curva.....	190
Figura 3.58	Caso $W_p = F_p$ .....	191
Figura 3.59	Caso $W_p < F_p$ .....	191
Figura 3.60	Caso $W_p > F_p$ .....	192
Figura 3.61	Transición del peralte.....	201
Figura 3.62	Secciones transversales y perfil parcial de la transición del peralte.....	202
Figura 3.63	Disposición de los carriles que rotan respecto a su eje de rotación.....	204
Figura 3.64	Planta de la transición del peralte.....	207
Figura 3.65	Perfil longitudinal de la transición del peralte.....	208
Figura 3.66	Perfil parcial de la transición del peralte.....	211
Figura 3.67	Cotas de los bordes en secciones específicas.....	214

Figura 3.68	Cotas de bordes y abscisas en secciones específicas.....	217
Figura 3.69	Peralzado en curvas de diferente sentido.....	219
Figura 3.70	Cotas de bordes en secciones específicas.....	221
Figura 3.71	Peralzado en curvas de diferente sentido, con cambios de pendiente...	222
Figura 3.72	Abscisas y cotas de bordes en secciones específicas.....	224
Figura 3.73	Peralte en una curva compuesta de dos radios.....	226
Figura 3.74	Perfil del peralte en una curva compuesta de dos radios.....	228
Figura 3.75	Curvatura en el enlace de tramos rectos con una curva circular simple	231
Figura 3.76	Curvatura en el enlace de tramos rectos con curvas circulares compuestas.....	231
Figura 3.77	Trayectoria de los vehículos en una curva circular.....	232
Figura 3.78	Curvatura en enlace de tramos rectos con una curva circular con curvas de transición.....	233
Figura 3.79	La curva de transición entre la recta y el arco circular.....	234
Figura 3.80	Clotoide de parámetro $K=8$ .....	236
Figura 3.81	Elementos de la Clotoide o espiral.....	237
Figura 3.82	Elementos de la curva simétrica Espiral-Circular-Espiral.....	243
Figura 3.83	Vehículo girando en curva.....	249
Figura 3.84	Longitud mínima de la espiral de acuerdo al peralte.....	252
Figura 3.85	Problema 3.5.....	270
Figura 3.86	Problema 3.6.....	271
Figura 3.87	Problema 3.7.....	272
Figura 3.88	Problema 3.8.....	273
Figura 3.89	Problema 3.9.....	274
Figura 3.90	Problema 3.10.....	275
Figura 3.91	Problema 3.11.....	276
Figura 3.92	Problema 3.12.....	277
Figura 3.93	Problema 3.13.....	277
Figura 3.94	Problema 3.14.....	278
Figura 3.95	Problema 3.15.....	279
Figura 3.96	Problema 3.16.....	280
Figura 3.97	Problema 3.17.....	281
Figura 3.98	Problema 3.18.....	282
Figura 3.99	Problema 3.19.....	283
Figura 3.100	Problema 3.20.....	283
Figura 3.101	Problema 3.21.....	284
Figura 3.102	Problema 3.22.....	285
Figura 3.103	Problema 3.23.....	286
Figura 3.104	Problema 3.24.....	287
Figura 3.105	Problema 3.25.....	288
Figura 3.106	Problema 3.26.....	288
Figura 3.107	Problema 3.27.....	289
Figura 3.108	Problema 3.28.....	290
Figura 3.109	Problema 3.29.....	291
Figura 3.110	Problema 3.30.....	292

Figura 3.111	Problema 3.32.....	294
Figura 3.112	Problema 3.37.....	296
Figura 3.113	Problema 3.38.....	297
Figura 3.114	Problema 3.42.....	300
Figura 3.115	Problema 3.43.....	301
Figura 3.116	Problema 3.44.....	302
Figura 3.117	Problema 3.45.....	303
Figura 3.118	Problema 3.46.....	303
Figura 3.119	Problema 3.48.....	305
Figura 3.120	Problema 3.49.....	306
Figura 4.1	La tangente vertical.....	308
Figura 4.2	Parábola de eje vertical, perfectamente simétrica.....	315
Figura 4.3	Diferencia algebraica entre las pendientes.....	319
Figura 4.4	Significado de $i$ . Tipos de curvas verticales.....	321
Figura 4.5	Punto máximo de una curva vertical simétrica.....	322
Figura 4.6	Curva vertical asimétrica.....	324
Figura 4.7	Punto mínimo de una curva vertical asimétrica.....	325
Figura 4.8	Coefficiente angular de una curva vertical.....	327
Figura 4.9	Curva vertical convexa simétrica.....	329
Figura 4.10	Curva vertical cóncava simétrica.....	332
Figura 4.11	Curva vertical simétrica por un punto obligado.....	334
Figura 4.12	Ejemplo de punto máximo de una curva vertical simétrica.....	336
Figura 4.13	Curva vertical simétrica por un punto mínimo.....	338
Figura 4.14	Ejemplo 4.6.....	339
Figura 4.15	Curva vertical compuesta.....	340
Figura 4.16	Ejemplo 4.7.....	342
Figura 4.17	Curvas verticales simétricas que se cruzan.....	343
Figura 4.18	Ejemplo 4.8.....	344
Figura 4.19	Pendiente en una curva vertical restringida.....	344
Figura 4.20	Ejemplo 4.9.....	345
Figura 4.21	Curva vertical sobre una cota obligada.....	346
Figura 4.22	Ejemplo 4.10.....	347
Figura 4.23	Curvas verticales tangentes.....	348
Figura 4.24	Ejemplo 4.11.....	349
Figura 4.25	Rasantes que se cruzan, a desnivel.....	350
Figura 4.26	Ejemplo 4.12.....	352
Figura 4.27	Curva vertical en un paso inferior.....	352
Figura 4.28	Ejemplo 4.13.....	354
Figura 4.29	Máximos entre curvas verticales simétricas.....	354
Figura 4.30	Ejemplo de curva vertical asimétrica.....	356
Figura 4.31	Distancia de visibilidad de parada.....	359
Figura 4.32	Relación entre la velocidad, el tiempo y la distancia, en movimiento uniformemente desacelerado.....	361
Figura 4.33	Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	368

Figura 4.34	Evaluación y medición de las distancias de visibilidad en carreteras.....	374
Figura 4.35	Curva vertical convexa con visibilidad de parada. Caso 1: $D_p > L_v$ .....	376
Figura 4.36	Curva vertical convexa con visibilidad de parada. Caso 2: $D_p < L_v$ .....	378
Figura 4.37	Curva vertical cóncava con visibilidad de parada. Caso 1: $D_p > L_v$ .....	380
Figura 4.38	Curva vertical cóncava con visibilidad de parada. Caso 2: $D_p < L_v$ .....	382
Figura 4.39	Longitud de una curva vertical convexa con base en criterios.....	388
Figura 4.40	Longitud de una curva vertical cóncava con base en criterios.....	392
Figura 4.41	Problema 4.1.....	394
Figura 4.42	Problema 4.2.....	395
Figura 4.43	Problema 4.5.....	397
Figura 4.44	Problema 4.7.....	398
Figura 4.45	Problema 4.11.....	400
Figura 4.46	Problema 4.13.....	401
Figura 4.47	Problema 4.14.....	402
Figura 4.48	Problema 4.15.....	403
Figura 5.1	Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta.....	406
Figura 5.2	Sobre-ancho en las curvas, vehículos rígidos.....	412
Figura 5.3	Sobre-ancho en las curvas, vehículos articulados.....	414
Figura 5.4	Transición del sobre-ancho en las curvas.....	417
Figura 5.5	Secciones transversales típicas.....	420
Figura 5.6	Posición de las estacas de chaflanes y de ceros.....	422
Figura 5.7	Planta de chaflanes y ceros.....	423
Figura 5.8	Posición de los chaflanes.....	424
Figura 5.9	Ancho de banca en recta y en corte.....	426
Figura 5.10	Ancho de banca en recta y en terraplén.....	427
Figura 5.11	Ancho de banca en curva y en corte.....	428
Figura 5.12	Ancho de banca en curva y en terraplén.....	430
Figura 5.13	Ancho de banca en recta y sección mixta.....	431
Figura 5.14	Área sección homogénea simple en recta, por figuras geométricas y coordenadas.....	432
Figura 5.15	Área sección homogénea simple en recta, por las coordenadas de los vértices.....	434
Figura 5.16	Ancho de banca y área, por figuras geométricas y coordenadas.....	436
Figura 5.17	Ejemplo de cálculo del área por las coordenadas de los vértices.....	438
Figura 5.18	Área sección mixta simple en recta por las coordenadas de los vértices.....	439
Figura 5.19	Área sección mixta por las coordenadas de los vértices.....	440
Figura 5.20	Área sección homogénea simple en curva, por figuras geométricas.....	442
Figura 5.21	Área sección homogénea simple en curva, por chaflanes.....	443
Figura 5.22	Área sección homogénea simple en curva, por coordenadas de los vértices.....	444
Figura 5.23	Área sección homogénea simple en curva, por coordenadas.....	445
Figura 5.24	Área sección mixta compuesta en curva.....	446
Figura 5.25	Área sección mixta compuesta en curva, por chaflanes.....	447
Figura 5.26	El prismoide en carreteras.....	448

Figura 5.27	Prismoide, tronco de pirámide y pirámide.....	450
Figura 5.28	Abcisas, cotas de trabajo, chaflanes y ceros.....	451
Figura 5.29	Áreas de las secciones por el método de los chaflanes. Ejemplo 5.4....	452
Figura 5.30	Áreas de las secciones por el método de los chaflanes. Ejemplo 5.5....	456
Figura 5.31	Cálculo de ancho de banca, talud y área.....	458
Figura 5.32	Posición de chaflanes y cálculo de área.....	460
Figura 5.33	Perfil longitudinal y diagrama de masas.....	464
Figura 5.34	Propiedades del diagrama de masas.....	466
Figura 5.35	Ejemplo numérico del diagrama de masas.....	470
Figura 5.36	Distancia media de acarreo longitudinal.....	472
Figura 5.37	Problema 5.1.....	478
Figura 5.38	Problema 5.4.....	479
Figura 5.39	Problema 5.7.....	481
Figura 5.40	Problema 5.8.....	482
Figura 5.41	Problema 5.9.....	483
Figura 5.42	Problema 5.13.....	486
Figura 5.43	Problema 5.14.....	487
Figura 5.44	Problema 5.15.....	488
Figura 5.45	Problema 5.16.....	489
Figura 5.46	Problema 5.17.....	490
Figura 5.47	Problema 5.18.....	491

## INTRODUCCIÓN

En esta nueva edición de mi libro, *DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS*, quedan plasmados los resultados logrados en este fascinante campo de la ingeniería vial a lo largo de treinta y cinco años de experiencia profesional, tanto académica como práctica, y que hoy más que nunca llenan mi vida de una satisfacción y felicidad inconmensurables.

La experiencia académica, fundamentalmente lograda en el ámbito de pregrado, a través de la enseñanza de los cursos de Diseño Geométrico de Vías en las Facultades de Ingeniería de la Universidad del Valle y la Pontificia Universidad Javeriana de Cali; lo mismo que mediante la enseñanza de los cursos de Diseño Geométrico Avanzado de Vías en los programas de posgrado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en Bogotá, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, la Universidad del Norte en Barranquilla, la Universidad del Sinú en Montería y la Universidad de Cartagena en Cartagena; e igualmente, como profesor internacional de los temas de Diseño Geométrico de Vías Urbanas en los cursos intensivos de transporte urbano que se han venido desarrollando en las repúblicas de México y Venezuela.

La experiencia práctica, principalmente obtenida como asesor, consultor y diseñador de una gran cantidad de proyectos viales en el campo rural y urbano, nacionales e internacionales, en una diversidad de entidades privadas y oficiales.

Por lo anterior, este libro lo he escrito con el propósito de que sea consultado por estudiantes universitarios de pregrado y posgrado, profesores y profesionales practicantes de la ingeniería de vías,

convencido que con el desarrollo de una gran cantidad de ejemplos de casos típicos, se pueden aclarar y afianzar mejor los principios básicos adquiridos; los cuales aquí se presentan en forma completa con su sustentación teórica y con los criterios que los soportan, actualmente aceptados mundialmente y normalizados por el Instituto Nacional de Vías, del Ministerio de Transporte de Colombia. Adicionalmente, he confeccionado una serie de problemas propuestos, para que sean resueltos por el lector como una práctica final. También, he diseñado de manera especial todas las figuras del libro, para así transmitirle al lector mis ideas gráficas de forma real y proporcionada, de acuerdo con mi imaginación tridimensional.

De esta manera, el libro puede ser utilizado como texto guía en cualquier centro de educación superior nacional o extranjero, y como documento de consulta o de referencia en empresas consultoras y oficinas estatales que realicen proyectos viales.

Los temas del libro están divididos en cinco grandes capítulos. El capítulo 1, *Las carreteras*, define las carreteras, las clasifica y presenta su concepción tridimensional, ubicando al lector en el diseño geométrico. El capítulo 2, *Rutas y líneas de pendiente*, presenta los estudios de rutas y líneas de pendiente para casos de terrenos ondulados, montañosos y escarpados, donde se pueden presentar varias soluciones de trazados. El capítulo 3, *Diseño geométrico horizontal: planta*, analiza los diferentes elementos del diseño geométrico planimétrico y su relación con la estabilidad del vehículo en la marcha. El capítulo 4, *Diseño geométrico vertical: rasante*, aborda todos los elementos del diseño altimétrico longitudinal, su relación con la visibilidad, y presenta los diversos criterios para la elección de las longitudes óptimas de las curvas verticales. Por último, el capítulo 5, *Diseño geométrico transversal: secciones, áreas y volúmenes*, complementa la concepción tridimensional de la vía, a través del estudio de las secciones transversales, sus áreas, los volúmenes entre ellas y su compensación con el diagrama de masas.

En la preparación de esta nueva edición del libro, quiero expresar mis más afectivos agradecimientos: a las directivas de la Universidad del Valle y de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali Colombia, por

haberme permitido a través de la enseñanza, la educación superior y la consultoría, estar en contacto a escala local, nacional e internacional con muchas personas estudiosas y practicantes de la ingeniería de vías. A mis estudiantes de pregrado y posgrado, por brindarme la oportunidad con la enseñanza de este tema, de producir una buena parte del contenido del texto. A mis compañeros profesores de las diversas universidades donde he enseñado, por sus elogios, críticas y sugerencias. A mis anteriores jefes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, ingenieros Silvio Delvasto, Iván Enrique Ramos, Héctor Cadavid, Peter Thomson y Ricardo Ramírez, por sus estímulos, apoyo y constante colaboración. Hoy en día, al doctor Mauricio Jaramillo Decano Académico de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y al ingeniero Diego Darío Pérez Director del Departamento de Ingeniería Civil e Industrial de la misma universidad, por sus excelentes comentarios. A mi colega y gran amigo el profesor Alexander García, con quien he compartido interesantes experiencias profesionales y académicas. A mis ex alumnas, amigas y colegas ingenieras Jackeline Murillo y Paola Andrea Cruz, por la revisión del texto y sus valiosas observaciones. A mis cuatro grandes amigos, colegas y ex alumnos, ingenieros Edgar Fonseca, Luis Carlos Moya, Mauricio Carvajal y Paúl Núñez, por sus siempre muy acertados puntos de vista profesionales y sus oportunas reflexiones en mis momentos difíciles. Al ingeniero Iván Estrada, ex Presidente de la Asociación de Ingenieros de Valle, por el intercambio de experiencias. A mi ex alumno, Walther Delgado, por su trabajo fino y nítido en la edición final en computador de todas las figuras del libro. En especial, a mi hijo Juan David Cárdenas Angulo por haber tenido siempre la paciencia y la actitud en el diseño fotográfico del libro, lo mismo que a mi hija Janet Cárdenas Angulo por sus lindos consejos; los dos siempre han sido y serán el gran impulso y el aliciente para seguir adelante. Y finalmente, a todas aquellas personas, que de una u otra manera me apoyaron, y que hoy convierten esta inmensa alegría en realidad.

JAMES CÁRDENAS GRISALES

# Capítulo 1

## LAS CARRETERAS

---

---

### 1.1 GENERALIDADES

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

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

Una vía será *funcional* de acuerdo a su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una velocidad de operación suficiente.

**Otros títulos de interés:**

Ecourbanismo

*Gabriel Leal del Castillo*

Presupuesto y su control en un proyecto  
arquitectónico

*Hernando González Forero*

Gerencia de la construcción

*Miguel David Rojas López*

Administración para ingenieros

*Miguel David Rojas López*

Hidráulica de ríos

*Tomás Ochoa*

Guía práctica de dibujos para ingeniería

*Germán Valencia García*

Planimetría

*Mario Arturo Rincón*

Evaluación de proyectos para ingenieros

*Miguel David Rojas López*

# Diseño geométrico de carreteras



Mediante su presentación didáctica, esta obra está dirigida a estudiantes universitarios de ingeniería, profesores y profesionales practicantes del diseño geométrico de carreteras. En ella encontrarán las bases necesarias, los fundamentos teóricos y los criterios de soporte aceptados universalmente y, que con el desarrollo de una gran cantidad de ejemplos de casos típicos y la presentación de una serie de problemas propuestos, les permitirá afianzar su aprendizaje y dar solución a problemas específicos.

De esta manera, el libro puede ser utilizado como texto guía en cualquier centro de educación superior nacional o extranjero, y como documento de consulta o de referencia en empresas consultoras y oficinas estatales que realicen proyectos viales.

El lector encontrará en forma secuencial todos los elementos que permiten definir la concepción tridimensional del diseño geométrico de una carretera. Para tal efecto, el texto, partiendo de la definición de las carreteras y del estudio de rutas y líneas de pendiente, presenta el diseño geométrico horizontal o en planta, el diseño geométrico vertical o rasante y el diseño geométrico transversal o secciones, áreas y volúmenes.

**Área:** Ingeniería

**Colección:** Ingeniería y arquitectura

**ECCOE**  
EDICIONES

