

DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS



James Cárdenas Grisales

ECOE
EDICIONES

DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS

JAMES CÁRDENAS GRISALES

Cárdenas Grisales, James

Diseño geométrico de vías urbanas / James Cárdenas Grisales. -- 1a ed. -- Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022.

482 p. – (Ingeniería y afines. Ingeniería civil)

Contiene datos curriculares del autor. -- Contiene índice temático. -- Contiene referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-503-362-7 -- 978-958-503-363-4 (e-book)

1. Carreteras - Diseño 2. Planificación de carreteras 3. Patrones geométricos I. Título II. Serie

CDD: 711.7 ed. 23

CO-BoBN- a1091021



Área: Ingeniería y afines

Subárea: Ingeniería civil



© James Cárdenas Grisales

► Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, junio del 2022

ISBN: 978-958-503-362-7

e-ISBN: 978-958-503-363-4

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Carátula: James Cárdenas Grisales
Impresión: Carvajal Soluciones de
Comunicación S.A.S.
Carrera 69 #15-24

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho esta ocasión para dar mis especiales agradecimientos y reconocimientos a las siguientes personas, que en su momento fueron o son, ya sea mis profesores, colegas, alumnos o amigos, y quienes han sido fundamentales en mi formación personal, académica y profesional; por sus enseñanzas, por las oportunidades que me dieron como jefes, por sus estímulos, por sus elogios, por sus recomendaciones o por el haber compartido innumerables experiencias:

Ing. Carlos Trujillo, ex rector y ex director del Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad del Valle de Cali.

Ing. Hernán Otoniel Fernández, ex director del Instituto de Posgrado en Vías, ex rector de la Universidad del Cauca de Popayán, ex Secretario General Técnico del Instituto Nacional de Vías de Colombia. Maestro en Ingeniería y Profesor Emérito de la Universidad del Cauca de Popayán. Quien hoy me honra con la elaboración del prólogo.

Ing. Iván Enrique Ramos, ex decano de la Facultad de Ingeniería y ex rector de la Universidad del Valle de Cali.

Ing. Patricio Cal y Mayor Leach, presidente de la empresa Cal y Mayor y Asociados de México.

Ing. Santiago Henao, ex decano de Ingeniería Civil y ex director del Centro de Estudios de Vías y Transporte de la Escuela Colombiana de Ingeniería de Bogotá.

Ing. Víctor Manuel Cantillo, ex alumno de la Maestría en Ingeniería de Tránsito y Transporte de la Universidad del Cauca de Popayán y ex coordinador de la Especialización en Vías y Transportes de la Universidad del Norte de Barranquilla.

Ing. Ramón Torres, ex alumno de la Especialización en Vías Terrestres de la Universidad del Cauca de Popayán y ex coordinador del Posgrado en Vías y ex decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena.

Ing. Jesús Libardo López, ex coordinador de la Especialización en Vías y Transportes de la Universidad del Sinú de Montería.

Ing. Wilson Ernesto Vargas, ex coordinador de la Especialización en Diseño de Vías Urbanas, Tránsito y Transporte de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá.

Ing. Jorge Francisco Estela, ex decano de la Facultad de Ingeniería y director del Departamento de Ingeniería Civil e Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Ing. Jaime Andrés Lakah, director de Ingeniería Civil, coordinador de las Especializaciones en Vías Terrestres y en Obras Civiles de la Universidad Pontificia Bolivariana de Montería.

Ing. Iván Alberto Estrada, ex presidente de la Asociación de Ingenieros del Valle (AIV) e ingeniero civil independiente.

Ing. Edgar Alberto Fonseca, ex alumno de la Especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Vías y de la Maestría en Tránsito y Transporte de la Escuela Colombiana de Ingeniería de Bogotá. Profesor cátedra en programas de posgrado en vías en varias universidades de Colombia.

Ing. Fernando Romero, ex alumno de la Especialización en Diseño de Vías Urbanas, Tránsito y Transporte de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Instructor del SENA de Bogotá. Ex catedrático de la Universidad Piloto de Colombia y de la Universidad La Gran Colombia de Bogotá.

Ing. Alexander García, instructor del SENA en Topografía y Construcción de Vías de Cali. Profesor cátedra de las Facultades de Ingeniería de la Universidad del Valle y de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Ing. Amparo Chaves, ex alumna de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali y de la Especialización en Vías Terrestres de la Universidad del Cauca de Popayán.

Ing. Luis Carlos Moya, ex alumno de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali y de la Maestría en Ingeniería de Tránsito y Transporte de la Universidad del Cauca de Popayán.

Ing. Paul Núñez, ex alumno de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali y de la Especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Vías de la Escuela Colombiana de Ingeniería de Bogotá.

Ing. Mateo Escobar, ex alumno de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Ing. Paola Cruz, ex alumna de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali. Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Ing. Jackeline Murillo, ex alumna de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali. Profesora de la Facultad de Ingeniería de la misma universidad.

Ing. Ciro Jaramillo, ex alumno de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la misma universidad.

Ing. Eduardo Peña, ex alumno de Ingeniería Topográfica de la Universidad del Valle de Cali. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la misma universidad.

Ing. María Fernanda García, profesora y ex directora de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

De manera muy especial quiero agradecer a mi ex alumno Walther Delgado, por una vez más acompañarme en la edición final en AutoCAD de todas las figuras de este libro; su trabajo fino y nítido y el compartir muchos de mis cómputos manuales con sus cálculos en computador, corroboran la veracidad de este documento.

Finalmente, no quiero dejar pasar esta oportunidad, para en memoria agradecer a mi entrañable y recordado gran amigo y colega Mauricio Carvajal (q.e.p.d.), ex alumno de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Cali y de la Maestría en Ingeniería de Tránsito y Transporte de la Universidad del Cauca de Popayán. Sus puntos de vista y sus reflexiones profesionales y de vida que compartí con él, siempre los tengo presentes en mi mente.

A mi esposa Andrea, por siempre darme las fuerzas para continuar, por su paciencia y comprensión en mis momentos difíciles y por ser la fiel testigo de mi diario trabajo académico y profesional.

A mis hijos Janet y Juan David, por estar constantemente apoyándome en todo lo que he necesitado y que con sus valiosos consejos en esta etapa de mi vida, he logrado escribir este nuevo libro.

A mis hermanos Carlos Arturo, William, Oliverio, Roosevelt y Diomar, por continuamente tenerme presente en sus oraciones, son mi orgullo.

A la memoria de mis padres José Arturo y María Isaura, que con su valentía, dedicación y empeño estructuraron mi vida. Igualmente, al recuerdo de mis hermanos Margoth y Norvey, inolvidables. Los cuatro son los ángeles que hoy me guían desde el cielo.

Finalmente, quiero dedicar este libro a mis dos nietos Benjamín y Daniel, por tener la fortuna de verlos crecer, y que con su inteligencia y travesuras, alegran mi vida profundamente.

James Cárdenas Grisales

CONTENIDO

PRÓLOGO	IX
INTRODUCCIÓN	XI
Capítulo 1.	
JERARQUIZACIÓN VIAL URBANA	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANEACIÓN VIAL URBANA	2
1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE VÍAS URBANAS	7
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA OFERTA VIAL Y DE LA DEMANDA VEHICULAR	9
1.5 PREMISAS DEL PROYECTO DE VÍAS URBANAS	11
1.6 FUNCIÓN DE LAS VÍAS URBANAS	11
1.7 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA VIAL URBANO	12
1.7.1 Criterios de clasificación	12
1.7.2 Características funcionales de cada sistema de vías	16
1.7.3 Dosificación de la red vial urbana	19
Capítulo 2.	
MANIOBRAS VEHICULARES EN INTERSECCIONES	21
2.1 TIPOS DE MANIOBRAS	21
2.2 CUANTIFICACIÓN DE LOS CONFLICTOS	23
2.3 OPERACIÓN VEHICULAR EN LAS ÁREAS DE MANIOBRA	36
2.4 PROBLEMAS PROPUESTOS	38
Capítulo 3.	
BASES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES A NIVEL	43
3.1 GENERALIDADES	43
3.2 CONTROLES GENERALES DE DISEÑO	44
3.3 PRINCIPIOS BÁSICOS EN EL DISEÑO DE INTERSECCIONES A NIVEL	45
3.4 DATOS PREVIOS NECESARIOS PARA EL PROYECTO	48
3.4.1 Tipos de vías que se cruzan	49
3.4.2 Datos del tránsito	53
3.4.3 Emplazamiento de la intersección	54
3.4.4 Accidentalidad	54
3.4.5 Otros datos	54
Capítulo 4.	
ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO EN INTERSECCIONES A NIVEL	55
4.1 VEHÍCULOS DE DISEÑO O PROYECTO	55
4.2 DISEÑOS MÍNIMOS PARA GIROS A LA DERECHA A 90°	68
4.3 DISEÑOS MÍNIMOS PARA GIROS A LA DERECHA EN ÁNGULO OBLICUO ($\Delta \neq 90^\circ$)	79

4.3.1	Curva compuesta asimétrica de tres radios para ángulos de giro de $0^\circ < \Delta < 90^\circ$	79
4.3.2	Curva compuesta simétrica de tres radios para ángulos de giro de $0^\circ < \Delta < 90^\circ$	81
4.3.3	Curva compuesta asimétrica de tres radios para ángulos de giro de $90^\circ < \Delta < 180^\circ$	82
4.3.4	Curva compuesta simétrica de tres radios para ángulos de giro de $90^\circ < \Delta < 180^\circ$	84
4.4	ENLACES O GIROS A LA DERECHA CON ISLETAS EN LAS ESQUINAS	103
4.5	ABERTURAS EN EL SEPARADOR CENTRAL	109
4.5.1	Generalidades	109
4.5.2	Radios de control en giros a izquierda	109
4.5.3	Longitud de la abertura del separador central cuando las vías que se cruzan no son ortogonales ($\neq 90^\circ$)	114
4.6	CARRILES ESPECIALES DE GIROS A IZQUIERDA EN LAS ABERTURAS DEL SEPARADOR CENTRAL	124
4.6.1	Conceptos	124
4.6.2	Longitud de la cuña de transición	124
4.6.3	Longitud del carril de almacenamiento	132
4.7	ISLETAS	142
4.7.1	Características generales	142
4.7.2	Isletas canalizadoras	145
4.7.3	Isletas separadoras	145
4.7.4	Isletas de refugio	146
4.7.5	Forma y tamaño de las isletas	146
4.7.6	Delineación y forma de los accesos a las isletas	147
4.8	CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD	157
4.8.1	Conceptos	157
4.8.2	Elementos geométricos de los carriles de cambio de velocidad	158
4.9	PERALTE EN ENLACES O BIFURCACIONES	164
4.9.1	Valores del peralte en enlaces	164
4.9.2	Transición del peraltado en enlaces	164
4.10	GLORIETAS O ROTONDAS	186
4.10.1	Generalidades	186
4.10.2	Elementos geométricos básicos de una glorieta	187
4.10.3	Parámetros de diseño geométrico en glorietas	189
4.10.4	Relaciones geométricas entre los radios de entrada y salida y los elementos geométricos de una glorieta	212
4.11	PROBLEMAS PROPUESTOS	244

Capítulo 5.

ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE TRAMOS VIALES	251
5.1 GENERALIDADES	251
5.2 DISEÑO GEOMÉTRICO PLANIMÉTRICO DE TRAMOS	252
5.2.1 Curvas horizontales	252
5.2.2 Velocidades de operación, límite máxima, de diseño y específica en tramos viales	271
5.2.3 Fricción, peraltes máximos y radios mínimos	273
5.2.4 Transición del peralte	278
5.3 DISEÑO GEOMÉTRICO ALTIMÉTRICO DE TRAMOS	304

5.3.1	Pendientes longitudinales mínima y máxima	304
5.3.2	Curvas verticales	305
5.3.3	Longitudes apropiadas de las curvas verticales	315
5.4	PROBLEMAS PROPUESTOS	346

Capítulo 6.

ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO EN INTERSECCIONES A DESNIVEL

		351
6.1	GENERALIDADES Y JUSTIFICACIÓN	351
6.1.1	Generalidades	351
6.1.2	Justificación de las intersecciones a desnivel	351
6.2	TIPOS DE INTERSECCIONES A DESNIVEL	352
6.3	RAMPAS Y ENLACES	360
6.3.1	Velocidades de diseño de las rampas y enlaces	361
6.3.2	Curvatura y peraltes en las rampas y enlaces	361
6.3.3	Pendientes en las rampas y enlaces	363
6.3.4	Anchos de calzada en las rampas y enlaces	363
6.3.5	Espacios libres verticales y laterales	364
6.4	PROBLEMAS PROPUESTOS	437

Capítulo 7.

BASES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CICLORRUTAS

		439
7.1	TERMINOLOGÍA	439
7.2	TIPOLOGÍAS DE LAS VÍAS CICLISTAS Y DE LAS VÍAS CICLO-ADAPTADAS	440
7.2.1	Vías ciclistas	440
7.2.2	Vías ciclo-adaptadas	441
7.3	PARÁMETROS DE DISEÑO EN CICLORRUTAS	445
7.3.1	Dimensiones en las vías ciclistas	445
7.3.2	Velocidades de diseño en ciclorrutas	447
7.3.3	Radios mínimos y peraltes máximos en ciclorrutas	448
7.3.4	Inclinaciones transversales en ciclorrutas	450
7.3.5	Pendientes longitudinales en ciclorrutas	451
7.3.6	Sobreanchos en ciclorrutas	451
7.3.7	Distancia de visibilidad de parada en ciclorrutas	452
7.3.8	Longitud de las curvas verticales en ciclorrutas	452
7.4	PROBLEMAS PROPUESTOS	469

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	473
ÍNDICE TEMÁTICO	477

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Diseños mínimos al borde interno de la calzada (sardinel) para giros a la derecha a 90°	73
Tabla 4.2	Diseños mínimos al borde interno de la calzada (sardinel) para giros a la derecha entre 30° y 180°	85
Tabla 4.3	Coordenadas para la localización de la curva compuesta asimétrica de tres radios	97
Tabla 4.4	Datos para localización de la curva compuesta simétrica de tres radios, por coordenadas	100
Tabla 4.5	Datos para localización del retorno, diseñado con una curva compuesta simétrica de tres radios, por coordenadas	103
Tabla 4.6	Diseño mínimo de enlaces de giro a la derecha en esquinas	105
Tabla 4.7	Longitud mínima de la abertura del separador en intersecciones a 90°	112
Tabla 4.8	Longitudes del carril de almacenamiento en giros a izquierda regulados con señal de PARE	133
Tabla 4.9	Resultados para localización de bahía exclusiva de giro a izquierda	142
Tabla 4.10	Cálculos para localización de enlaces, remate del separador e isletas	156
Tabla 4.11	Longitud de los carriles de cambio de velocidad	160
Tabla 4.12	Relaciones de la longitud en pendiente a la longitud a nivel de los carriles de cambio de velocidad	161
Tabla 4.13	Rangos de peralte para enlaces y bifurcaciones en intersecciones	164
Tabla 4.14	Variaciones del peralte en las curvas de las bifurcaciones	165
Tabla 4.15	Máxima diferencia entre las inclinaciones de las calzadas adyacentes	165
Tabla 4.16	Cotas de pavimento en la calzada principal y carril de desaceleración	169
Tabla 4.17	Cotas de pavimento en la calzada principal y carril de la bifurcación	184
Tabla 4.18	Principales elementos geométricos de una glorieta	188
Tabla 4.19	Fases del diseño geométrico de glorietas	190
Tabla 4.20	Rangos comunes del diámetro del círculo inscrito en glorietas	191
Tabla 4.21	Cotas de pavimento círculo inscrito por el método sinusoidal y por el método de curvas verticales	212
Tabla 4.22	Abscisas, coordenadas y cotas de rasante en una glorieta	240
Tabla 4.23	Cotas de pavimento en la calzada principal y carril de desaceleración	246
Tabla 4.24	Pendientes figuradas entre puntos sucesivos en los bordes exteriores	247
Tabla 4.25	Cotas en el círculo inscrito y en los bordes exteriores en calzadas comunes	248
Tabla 5.1	Datos para localización de una curva circular simple	257
Tabla 5.2	Datos para la localización de la curva espiral-circular-espiral	270
Tabla 5.3	Velocidades de diseño de referencia en tramos viales urbanos	272
Tabla 5.4	Coeficientes de fricción transversal máximos, $f_{Tmáx}$	274
Tabla 5.5	Radio mínimos para diferentes velocidades de diseño, fricción transversal máxima y peraltes máximos	275
Tabla 5.6	Radio según peraltes y velocidades de diseño, con $e_{máx} = 4\%$	277
Tabla 5.7	Radio según peraltes y velocidades de diseño, con $e_{máx} = 6\%$	277
Tabla 5.8	Radio según peraltes y velocidades de diseño, con $e_{máx} = 8\%$	278
Tabla 5.9	Valores máximos y mínimos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada con respecto al eje (m)	280
Tabla 5.10	Factores de ajuste por el número de carriles rotados	282
Tabla 5.11	Cotas de pavimento de la calzada de una arteria urbana de cuatro carriles, con curva circular	288

Tabla 5.12	Radio máximos para el uso de espirales	290
Tabla 5.13	Longitudes mínimas y máximas de la espiral según los diferentes criterios	292
Tabla 5.14	Coordenadas cartesianas de la espiral de entrada y salida	295
Tabla 5.15	Cotas de pavimento de la calzada de una arteria urbana de cuatro carriles, con espirales	298
Tabla 5.16	Pendientes longitudinales máximas	305
Tabla 5.17	Pendientes longitudinales máximas, proyectos nuevos	305
Tabla 5.18	Cartera de diseño de rasante, curva vertical cóncava simétrica	310
Tabla 5.19	Cartera de diseño de rasante, curva vertical convexa asimétrica	315
Tabla 5.20	Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel	315
Tabla 5.21	Valores mínimos de k_v para curvas verticales convexas y cóncavas con visibilidad de parada (criterio de seguridad)	317
Tabla 5.22	Cumplimiento de las longitudes de las curvas según criterios	324
Tabla 5.23	Cotas de pavimento de la vía colectora	340
Tabla 5.24	Cotas de pavimento de la calle marginal occidental	344
Tabla 5.25	Coordenadas de la vía colectora y la calle marginal occidental	345
Tabla 5.26	Coordenadas cartesianas de la espiral de entrada y salida	346
Tabla 5.27	Cotas de pavimento de la calzada de una arteria urbana de cuatro carriles, con espirales	347
Tabla 5.28	Coordenadas y cotas de rasante al eje en puntos importantes	349
Tabla 5.29	Verificación de las longitudes de las curvas según criterios	349
Tabla 6.1	Velocidad de diseño del segmento central de la rampa y del enlace	362
Tabla 6.2	Radio mínimos y peraltes para curvas en rampas o enlaces	362
Tabla 6.3	Rango de pendientes en rampas y enlaces	363
Tabla 6.4	Anchos de calzada de rampas y enlaces en intersecciones a desnivel	364
Tabla 6.5	Coordenadas para la localización de los ejes de la intersección a desnivel	406
Tabla 6.6	Cotas de pavimento ejes y bordes de la intersección a desnivel	407
Tabla 6.7	Datos para la localización de la curva espiral-circular-espiral en la rampa	418
Tabla 6.8	Cotas de pavimento al eje y en los bordes de la rampa a desnivel con espirales	423
Tabla 6.9	Abscisas y coordenadas principales de los ejes de la intersección a desnivel	431
Tabla 6.10	Cotas de pavimento ejes y bordes, Calle 5 y Avenida 1	436
Tabla 7.1	Conceptos básicos sobre ciclo-infraestructuras	439
Tabla 7.2	Definiciones específicas de vías ciclo-adaptadas	440
Tabla 7.3	Anchos de la banda de circulación	447
Tabla 7.4	Anchos mínimos y recomendados de las vías ciclistas	447
Tabla 7.5	Velocidades de diseño de ciclorrutas en tramos, en función de la pendiente	448
Tabla 7.6	Radio mínimos en curvas horizontales de ciclorrutas pavimentadas con ángulo de inclinación máximo deseable de 20°	449
Tabla 7.7	Radio mínimos en curvas horizontales de ciclorrutas en tramos y en intersecciones	450
Tabla 7.8	Pendientes longitudinales en ciclorrutas, según longitud máxima permitida	451
Tabla 7.9	Sobreanchos de ciclorrutas por pendientes	451
Tabla 7.10	Sobreanchos de ciclorrutas por radios de curvatura	452
Tabla 7.11	Características funcionales y de diseño de las arterias	455

Tabla 7.12	Indicadores de eficiencia del análisis operacional de la red vial Avenida 15 con Calles 7, 8 y 9	457
Tabla 7.13	Abscisas y coordenadas del eje de la ciclorruta en parque	463
Tabla 7.14	Cotas de pavimento al eje y bordes de la ciclorruta en parque	464
Tabla 7.15	Cotas de pavimento al eje y bordes de la ciclorruta a campo abierto	468
Tabla 7.16	Indicadores red vial Avenida 15 con Calles 7, 8 y 9, doblando volúmenes de entrada por el sur y el norte	469
Tabla 7.17	Abscisas y coordenadas del eje de la ciclorruta a campo abierto	470
Tabla 7.18	Cotas de pavimento al eje y bordes de la ciclorruta a campo abierto	471

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Proceso de planeación	4
Figura 1.2	Clasificación funcional de una red vial urbana	13
Figura 1.3	Clasificación funcional universal de un sistema vial urbano	14
Figura 1.4	Jerarquía de una red vial urbana	15
Figura 1.5	Jerarquía de movimientos	16
Figura 2.1	Tipos de maniobras vehiculares	22
Figura 2.2	Puntos de conflicto en maniobras vehiculares urbanas	23
Figura 2.3	Puntos de conflicto en una intersección de 4 ramas	24
Figura 2.4	Número de puntos de conflicto en diferentes tipos de intersecciones	26
Figura 2.5	Frecuencia de conflictos por hora	27
Figura 2.6	Conflictividad entre dos intersecciones	29
Figura 2.7	Ejemplo 2.5	31
Figura 2.8	Conflictividad entre tres intersecciones	32
Figura 2.9	Conflictividad entre una intersección en "Cruz" (+) y una glorieta	35
Figura 2.10	Velocidades vehiculares en puntos de conflicto	36
Figura 2.11	Velocidad relativa en puntos de conflicto	37
Figura 2.12	Problema 2.1	39
Figura 2.13	Problema 2.2	40
Figura 2.14	Problema 2.3	41
Figura 2.15	Problema 2.4	41
Figura 3.1	Calzadas de paso y de servicio	44
Figura 3.2	Perpendicularidad y paralelismo de trayectorias vehiculares	46
Figura 3.3	Control de velocidad con abocinamiento	47
Figura 3.4	Control de puntos de giro con isletas	47
Figura 3.5	Creación de zonas de protección	48
Figura 3.6	Intersecciones de tres ramales	50
Figura 3.7	Intersecciones de cuatro ramales	51
Figura 3.8	Intersecciones tipo glorieta o rotonda	52
Figura 4.1	Características del vehículo de diseño: Vehículo liviano L (P)	58
Figura 4.2	Características del vehículo de diseño: Camión de 2 ejes de unidad rígida C2 (SU-9)	59
Figura 4.3	Características del vehículo de diseño: Camión de 3 ejes de unidad rígida C3 (SU-12)	60
Figura 4.4	Características del vehículo de diseño: Tracto-semirremolque intermedio de 4 ejes C2S2 (WB-12)	61
Figura 4.5	Características del vehículo de diseño: Tracto-semirremolque grande de 5 ejes, C3S2 (WB-19)	62
Figura 4.6	Características del vehículo de diseño: Autobús urbano, Padrón (B-12)	63
Figura 4.7	Características del vehículo de diseño: Autobús suburbano, Intermunicipal (B-14)	64
Figura 4.8	Características del vehículo de diseño: Autobús urbano articulado, Troncal (A-BUS)	65
Figura 4.9	Anchos recomendados de calzada para giros en U (a 180°)	67
Figura 4.10	Giros a la derecha a 90°	68
Figura 4.11	Geometría de una curva compuesta simétrica de tres radios para $\Delta=90^\circ$	69
Figura 4.12	Geometría de una curva compuesta asimétrica de tres radios para $\Delta=90^\circ$	72

Figura 4.13	Diseño del borde interno de la calzada (sardinel) en un giro a la derecha a 90° , para el vehículo liviano (P) de diseño	74
Figura 4.14	Diseño del borde interno de la calzada (sardinel) en un giro a la derecha a 90° , para el camión rígido de tres ejes (SU-12)	77
Figura 4.15	Geometría de una curva compuesta asimétrica de tres radios para $0^\circ < \Delta < 90^\circ$	80
Figura 4.16	Geometría de una curva compuesta asimétrica de tres radios para $90^\circ < \Delta < 180^\circ$	83
Figura 4.17	Diseño del borde interno de la calzada (sardinel), en un giro a la derecha a 75° , vehículo de diseño tracto-semirremolque WB-12	88
Figura 4.18	Coordenadas de un punto sobre una curva circular	91
Figura 4.19	Diseño del borde interno de la calzada (sardinel), en un giro a la derecha a 120° , vehículo de diseño camión de unidad rígida SU-9	98
Figura 4.20	Diseño del borde interno de la calzada en un retorno (180°), vehículo de diseño tracto-semirremolque C2S2 (WB-12)	102
Figura 4.21	Enlaces con isletas triangulares canalizadoras	104
Figura 4.22	Diseño del borde interno de la calzada (sardinel), en un enlace de giro a la derecha a 135° , para proyecto tipo A	107
Figura 4.23	Aberturas en el separador central	109
Figura 4.24	Formas de los extremos del separador en la abertura	110
Figura 4.25	Radio de control en los giros a izquierda en una intersección	111
Figura 4.26	Longitud mínima de la abertura en un separador central en intersecciones ortogonales (90°)	113
Figura 4.27	Ángulo de esviaje u oblicuidad en intersecciones no ortogonales ($\neq 90^\circ$)	114
Figura 4.28	Remate del separador en forma semicircular (Diseño Tipo A) en intersecciones no ortogonales ($\neq 90^\circ$)	115
Figura 4.29	Remate del separador en forma de punta de bala simétrico (Diseño Tipo B) en intersecciones no ortogonales ($\neq 90^\circ$)	117
Figura 4.30	Remate del separador en forma de punta de bala asimétrico (Diseño Tipo C) en intersecciones no ortogonales ($\neq 90^\circ$)	119
Figura 4.31	Longitudes de la abertura en el separador para los diseños A, B y C	123
Figura 4.32	Carriles exclusivos para girar a la izquierda en las aberturas del separador central	124
Figura 4.33	Transición con curvas inversas simétricas	125
Figura 4.34	Transición con curvas inversas asimétricas	127
Figura 4.35	Transición con curvas inversas simétricas con entretangencia	128
Figura 4.36	Longitudes de la transición en giros exclusivos a la izquierda	132
Figura 4.37	Longitud del carril de almacenamiento en giros a izquierda	133
Figura 4.38	Extremos, transición y almacenamiento en giros a izquierda	136
Figura 4.39	Tipos generales y formas de las isletas	144
Figura 4.40	Detalles de isletas triangulares en esquinas para giros a la derecha	148
Figura 4.41	Ejemplo 4.12	149
Figura 4.42	Diseño del separador, enlaces e isletas	151
Figura 4.43	Diversas formas de carriles de cambio de velocidad	158
Figura 4.44	Ejemplo de carriles de desaceleración y aceleración	163
Figura 4.45	Desarrollo del peralte en un enlace de salida o bifurcación en recta	167
Figura 4.46	Perfil longitudinal de la transición del peralte de un enlace de salida	170
Figura 4.47	Desarrollo del peralte en un enlace de salida o bifurcación en curva	173
Figura 4.48	Abscisas equivalentes en curvas circulares de distintos radios y cen-	

	tros	174
Figura 4.49	Isometría de la transición de los peraltes de las dos curvas en la bifurcación	181
Figura 4.50	Perfil longitudinal de bordes del peraltado de la vía principal y la bifurcación	185
Figura 4.51	Secciones transversales del peraltado de la vía principal y la bifurcación	186
Figura 4.52	Principales elementos geométricos de una glorieta (rotonda)	189
Figura 4.53	Dimensiones de las isletas deflectoras	195
Figura 4.54	Ejes de diseño geométrico en la calzada anular	196
Figura 4.55	Borde exterior de la calzada anular en una glorieta en un plano inclinado	197
Figura 4.56	Perfil longitudinal de la rasante del círculo inscrito en una glorieta inclinada	200
Figura 4.57	Borde exterior de la calzada anular en una glorieta en un plano oblicuo	204
Figura 4.58	Vista en planta y vertical oblicua del borde exterior de la calzada anular	208
Figura 4.59	Perfil longitudinal de la rasante del círculo inscrito en una glorieta oblicua	210
Figura 4.60	Geometría de los radios de entrada y salida y elementos de la glorieta	213
Figura 4.61	Diseño geométrico en planta de una glorieta	227
Figura 4.62	Perfil longitudinal de la rasante del círculo inscrito (Eje 5)	235
Figura 4.63	Secciones transversales típicas en la glorieta	243
Figura 4.64	Desarrollo del peralte en un enlace de salida en recta. Problema 4.7	246
Figura 4.65	Perfiles figurados de la rasante en los bordes exteriores. Problema 4.9	249
Figura 5.1	Elementos geométricos de una curva circular simple	253
Figura 5.2	Cálculo de una curva circular simple, elementos y coordenadas	255
Figura 5.3	Curva circular compuesta de dos radios	258
Figura 5.4	Caso general de una curva circular compuesta de tres radios	259
Figura 5.5	Ejemplo de una curva circular compuesta de tres radios	261
Figura 5.6	Elementos de la curva simétrica Espiral-Circular-Espiral	263
Figura 5.7	Ejemplo de una curva simétrica Espiral-Circular-Espiral	268
Figura 5.8	Transición del peralte	279
Figura 5.9	Perfil longitudinal de la transición del peralte e inclinaciones transversales	281
Figura 5.10	Planta y perfil longitudinal del peralte de una arteria, con curva circular	284
Figura 5.11	Planta y perfil longitudinal del peralte de una arteria, con curvas espirales	296
Figura 5.12	Vista isométrica de los métodos de transición del peralte	299
Figura 5.13	Perfiles longitudinales y transversales de las formas de transición del peralte	300
Figura 5.14	Giros de las calzadas para vías con separador central	302
Figura 5.15	Isometría de giros de calzadas con separador central	303
Figura 5.16	Curva vertical convexa simétrica	306
Figura 5.17	Curva vertical cóncava simétrica	309
Figura 5.18	Curva vertical cóncava asimétrica	311
Figura 5.19	Curva vertical convexa asimétrica	313
Figura 5.20	Distancia de visibilidad en pasos inferiores	319
Figura 5.21	Verificación de longitudes de curvas verticales según criterios	321

Figura 5.22	Modificación de curvas verticales según criterio de seguridad	326
Figura 5.23	Planta de diseño de consistencia entre curvas horizontales y verticales	329
Figura 5.24	Secciones en la intersección de la marginal occidental con la vía co- lectora	335
Figura 5.25	Perfil longitudinal y transición de peralte de la vía colectora	339
Figura 5.26	Perfil longitudinal y transición de peralte de la calle marginal occi- dental	342
Figura 5.27	Arteria secundaria tipo avenida circunvalar	348
Figura 6.1	Intersecciones a desnivel de tres ramas con una estructura	354
Figura 6.2	Intersecciones a desnivel de tres ramas con múltiples estructuras	354
Figura 6.3	Intersecciones a desnivel de cuatro ramas, tipo diamante convencio- nal	355
Figura 6.4	Intersección a desnivel de cuatro ramas, tipo diamante con retornos	356
Figura 6.5	Intersección a desnivel de cuatro ramas, tipo diamante desplazado	356
Figura 6.6	Intercambiador divergente tipo diamante	357
Figura 6.7	Tréboles parciales de dos rampas	359
Figura 6.8	Trébol completo de cuatro rampas	360
Figura 6.9	Diseño geométrico de un trébol completo de cuatro rampas y cuatro enlaces	366
Figura 6.10	Tablero del puente y secciones transversales	367
Figura 6.11	Rampa y enlace del cuadrante Norte	371
Figura 6.12	Rampa y enlace del cuadrante Oeste	373
Figura 6.13	Rasante del Eje 3 de la vía secundaria	380
Figura 6.14	Diseño geométrico horizontal rampa Sur, Eje 5	385
Figura 6.15	Rasante y peraltado de la rampa Sur, Eje 5	388
Figura 6.16	Diseño geométrico horizontal rampa Oeste, Eje 8	391
Figura 6.17	Cálculo del arco al final de la rampa Oeste, Eje 8	393
Figura 6.18	Rasante y peraltado de la rampa Oeste, Eje 8	396
Figura 6.19	Diseño geométrico horizontal enlace Sur, Eje 9	398
Figura 6.20	Rasante y peraltado del enlace Sur, Eje 9	402
Figura 6.21	Diseño geométrico de una rampa a desnivel con espirales	414
Figura 6.22	Ubicación de la nariz de entrada a la rampa	417
Figura 6.23	Rasante y peraltado de la rampa con espirales	421
Figura 6.24	Cruce a desnivel entre dos vías urbanas	424
Figura 6.25	Planta de un paso superior en curva, sobre otra vía (paso inferior)	426
Figura 6.26	Rasante y peraltado de la Calle 5	433
Figura 6.27	Rasante y peraltado de la Avenida 1	435
Figura 7.1	Ciclorrutas paralelas a las vías y en parques	442
Figura 7.2	Ciclo-bandas a nivel de la vía y en el andén	443
Figura 7.3	Banda ciclo-preferente y carril ciclo-preferente	444
Figura 7.4	Espacio de circulación de un ciclista	446
Figura 7.5	Segmento de una arteria urbana bidireccional, sin ciclorrutas	454
Figura 7.6	Segmento de una arteria urbana bidireccional, con ciclorrutas	456
Figura 7.7	Diseño geométrico de un tramo de ciclorruta en un parque	461
Figura 7.8	Diseño de rasante de un tramo de ciclorruta a campo abierto	466

PRÓLOGO

Hoy 15 de mayo de 2022 se celebra el DÍA DEL MAESTRO y se difunden muchos mensajes de reconocimiento, gratitud y de cortesía. Para quienes hemos dedicado muchos años de la vida a la labor de educar es un día especial para recordar a nuestros discípulos y sentimos que lo hemos hecho bien sólo si nuestros alumnos nos superan.

En esa comunión espiritual maestro-alumno me complace, me alegra y me honra elaborar el prólogo del libro DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS de James Cárdenas Grisales, quien en la década de los setenta fue mi alumno destacado en la Facultad de Ingeniería Civil y en el Instituto de Vías de la Universidad del Cauca en Popayán, Colombia. En la década de los ochenta compartimos la labor de profesores, James como profesor visitante de los temas de Diseño Geométrico de Vías e Ingeniería de Tránsito en el Posgrado en Vías y Tránsito, de la misma universidad.

James siempre mostró un gran interés por temas relacionados con la ingeniería vial y su pasión por la aplicación de la geometría, en la solución de muchos problemas y diseños de la práctica profesional de la vialidad, tanto rural como urbana, en su estrecha relación con la ingeniería de tránsito, y con el pensamiento de que una demanda de tránsito debe ser atendida a través de una oferta eficiente de vialidad. La demanda vehicular y la oferta vial siempre han sido el punto de partida de los desafíos que constantemente se ha planteado, con el propósito de tener unos diseños geométricos de vías pertinentes para satisfacer los requerimientos de los usuarios.

Este libro de DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS presenta un nuevo enfoque para realizar los diseños geométricos de los diferentes elementos que componen una malla vial urbana, desarrollando una metodología ordenada, desde las maniobras vehiculares y los principios básicos de diseño geométrico de las intersecciones a nivel, hasta las intersecciones a desnivel, integradas a través de los diferentes tramos viales que la componen, para finalmente ligarlas también con las ciclorrutas.

El contenido de este libro hace el gran aporte del diseño geométrico detallado de todos los elementos de las vías urbanas. Se hace especial énfasis en el diseño geométrico básico de gloriets (rotondas) bajo una visión espacial tridimensional para una mejor comprensión y su concatenación con los demás elementos viales. Además, es de particular interés y de gran utilidad la presentación del diseño geométrico de ciclorrutas.

James Cárdenas Grisales obtuvo el grado de Ingeniero Civil en el año 1974 en la Universidad del Cauca de Popayán y el título de Especialista en Vías Terrestres en el Instituto de Vías de la misma universidad, por medio de una beca otorgada por el entonces Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Colombia. El título de Maestro en Ciencias en el año 1981 en la Universidad de Maryland de Estados Unidos, a través de una beca Laspau-Fulbright. Y el título de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas en el año 1990 en la Universidad del Valle de Cali, por medio de una beca de la misma universidad.

Profesionalmente durante los años 1975 y 1976 se desempeñó como ingeniero de conservación de carreteras en el departamento del Tolima con el Ministerio de Obras Públicas y Transporte. En el periodo entre los años 1976 y 2005 estuvo vinculado como profesor de planta en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle donde alcanzó la categoría de profesor titular. Entre los años 2007 y 2010 se vinculó como consultor y asesor de la oficina de Planeación Municipal de Cali, siendo el director de la elaboración del Plan Integral de Movilidad Urbana (PIMU). Finalmente, desde el año 2011 al año 2015 se desempeñó como profesor de planta en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

De igual manera, es de mencionar que por muchos años estuvo vinculado en varias universidades de Colombia y del exterior, como profesor invitado de los cursos de Diseño Geométrico de Vías e Ingeniería de Tránsito, en programas de posgrado. Igualmente, durante toda su vida profesional, ha participado a nivel local, nacional e internacional en una diversidad de proyectos sobre vialidad tanto rural como urbana, como diseñador, asesor e interventor.

Los congresos, los simposios, los diplomados y las asesorías, en los cuales el tema fundamental ha sido el diseño de infraestructura vial, la seguridad vial y el tránsito, se convirtieron en los medios y en el escenario para compartir nuestras vivencias y experiencias en la academia y en la labor profesional de consultoría.

Finalmente, quiero concluir manifestando que los estudiantes, los profesores y los profesionales en el área vial, disponemos de una herramienta muy útil y valiosa para el diseño geométrico de vías urbanas y el logro de una mejor movilidad urbana. Gratitud y reconocimiento al ingeniero James Cárdenas Grisales por su interés de seguir contribuyendo al avance del diseño en la ingeniería vial y por legarnos un nuevo libro, donde con su pasión por la geometría, nos ofrece su conocimiento adquirido en la academia universitaria y en la práctica profesional.

Hernán Otoniel Fernández Ordoñez

Ingeniero Civil y Maestro en Ingeniería.
Profesor Emérito de la Universidad del Cauca
Bogotá D.C., mayo de 2022

INTRODUCCIÓN

El trabajo que hoy culmino, el de escribir este nuevo documento, mi tercer libro, que he llamado DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS, fue una idea que me surgió hace unos años, ya prácticamente en mi retiro, pues con la experiencia ganada en la docencia y consultoría durante cuarenta y ocho años, pensé que no debía dejar estas notas sobre vialidad urbana como un recuerdo de mis clases de pregrado y posgrado en todas aquellas universidades en las que he sido profesor, lo mismo que en los alrededor de doscientos y más proyectos viales en los que he participado como consultor en el ámbito nacional e internacional.

Esta pandemia del Covid-19, que nos ha encerrado por tan largo tiempo, me motivó aún más, y la verdad creo haberlo logrado. Aquí se puede aplicar ese gran dicho que dice que “no hay mal que por bien no venga”. Y eso fue lo que provocó este virus, pues contrario al infortunio de padecer sus efectos negativos con todo tipo de restricciones, me generó excelentes resultados, un nuevo libro, que hoy llena mi vida de la felicidad más inmensa.

Fiel a mi estilo de mis otros dos libros, este nuevo libro lo he escrito con base a la exposición de una teoría conceptual fundamental, el desarrollo de una gran cantidad de ejemplos de aplicación en la práctica profesional de la vialidad urbana y la presentación de una serie de problemas propuestos a resolver por el lector, siempre pensando que esta es la metodología de aprendizaje en este campo de la ingeniería civil. Para tal efecto, a través de las referencias bibliográficas, me apoyo en normas, recomendaciones y estándares nacionales e internacionales, de uso universal, mostrando cómo es su aplicación en el diseño geométrico vial urbano.

Una base fundamental para el desarrollo de este libro, se debe el haber tenido el privilegio como profesor de planta enseñar por muchos años a nivel de pregrado los cursos de Diseño Geométrico de Vías e Ingeniería de Tránsito en las Facultades de Ingeniería de la Universidad del Valle y la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. A su vez, el haber participado como profesor invitado de los cursos de Diseño Geométrico Avanzado de Vías e Ingeniería de Tránsito Avanzada, en los programas de posgrado en las siguientes universidades: Instituto de Vías de la Universidad del Cauca en Popayán, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en Bogotá, Universidad del Norte en Barranquilla, Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Universidad Popular del Cesar en Valledupar, Universidad del Sinú en Montería, Universidad de Cartagena en Cartagena y Universidad Pontificia Bolivariana en Montería; e igualmente, como profesor internacional de los temas de Diseño Geométrico de Vías Urbanas e Ingeniería de Tránsito en los cursos intensivos de transporte urbano que se han desarrollado en la república de México.

Por otro lado, también fue esencial, la experiencia obtenida en el desarrollo profesional en los diferentes proyectos en que he participado como consultor, diseñador e interventor en una diversidad de entidades privadas y oficiales. Las múltiples soluciones a los proyectos viales que propuse y diseñé, siempre fueron llevadas al salón de clase, casi desde mi inicio como profesor y consultor, convencido de que una forma de aprender dentro de la universidad es conocer lo que se está realizando en la práctica profesional y, así mismo, vincular de alguna manera al estudiante en esta práctica.

La temática del libro la he dividido en siete capítulos:

En el capítulo 1, JERARQUIZACIÓN VIAL URBANA, se presenta el marco general de la planeación vial urbana, sus factores y premisas, y la clasificación funcional de las vías urbanas.

En el capítulo 2, MANIOBRAS VEHICULARES EN INTERSECCIONES, se analizan las diferentes maniobras que realizan los vehículos, los conflictos que ellas generan y su operación vehicular.

En el capítulo 3, BASES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIONES A NIVEL, se describen los controles generales, los principios básicos y los datos previos para su proyecto.

En el capítulo 4, ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO EN INTERSECCIONES A NIVEL, se exponen los diferentes tipos de vehículos de proyecto, los diseños de giros a derecha e izquierda, las isletas, los carriles de cambio de velocidad y los elementos generales del diseño de glorietas o rotondas.

En el capítulo 5, ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE TRAMOS VIALES, se presenta el diseño geométrico en planta, peraltado y rasante de tramos viales continuos entre intersecciones.

En el capítulo 6, ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO EN INTERSECCIONES A DESNIVEL, se exponen los diferentes tipos generales de intersecciones a desnivel, y el diseño geométrico en planta, rasante y peraltado de enlaces y rampas.

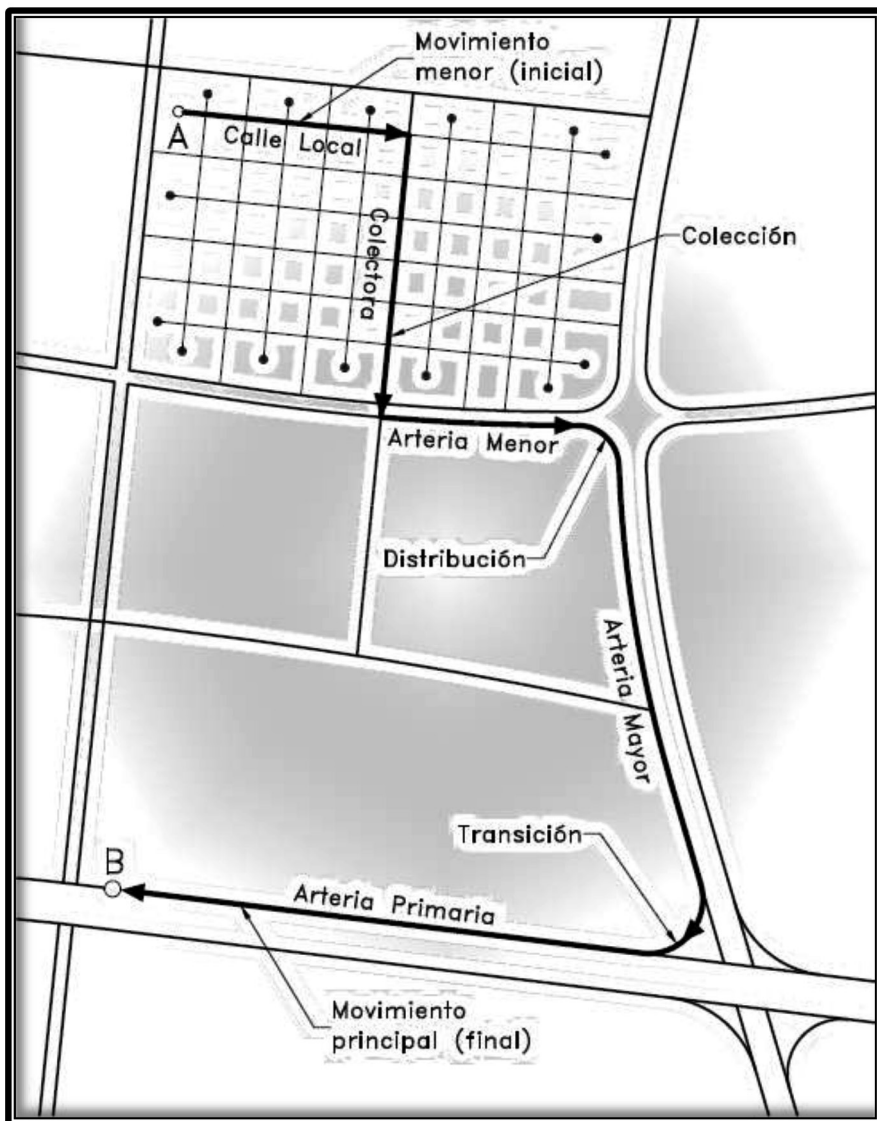
Por último, en el capítulo 7, BASES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CICLORRUTAS, se muestran las diferentes tipologías de las vías ciclistas y los parámetros generales para el diseño de ciclorrutas, en planta, anchos, perfil longitudinal y peraltado.

El objetivo fundamental de este libro, aparte de llenar ese vacío que existe a nivel urbano en este tema, es que sea consultado por estudiantes universitarios de pregrado y posgrado, profesores y profesionales practicantes de la ingeniería de vías, con especial énfasis en elementos geométricos sobre vialidad urbana. Para tal efecto, he desarrollado una gran cantidad de ejemplos de casos típicos y problemas propuestos, tal como se presentarían en la práctica profesional. En este sentido, todas las figuras del libro fueron originalmente dibujadas a mano con la intención de transmitirle al lector mis ideas gráficas de forma real y conveniente de acuerdo con mi imaginación tridimensional del problema de diseño geométrico a resolver. De igual manera, todos los cálculos fueron realizados manualmente, y en muchos casos validados con el uso de herramientas computacionales de Excel y de Auto-CAD, por lo que se podrán encontrar diferencias mínimas en los resultados, las cuales de orden práctico se consideran insignificantes.

James Cárdenas Grisales

CAPÍTULO 1

JERARQUIZACIÓN VIAL URBANA



CAPÍTULO 1

JERARQUIZACIÓN VIAL URBANA

1.1 ANTECEDENTES

Por todos es conocido, que en los últimos tiempos, por razones de diversa índole, se ha venido dando una gran migración o desplazamiento de personas desde las áreas rurales hacia los centros urbanos, generando de esta manera un crecimiento poblacional desmedido de las ciudades, donde en muchas de ellas su infraestructura no ha aumentado en la misma proporción, tal que permita satisfacer las necesidades, con al menos un mínimo de equilibrio, de esa población.

En las áreas urbanas, las altas concentraciones de la población, han producido severos cambios en los usos tradicionales del suelo, con aumentos desproporcionados de vehículos, o *demanda de tránsito*, muy superiores al crecimiento de la infraestructura vial, u *oferta vial*.

Esta disparidad se ve más reflejada por la presencia frecuente de congestionamientos, alta contaminación y mayor número de accidentes de tránsito; elementos que al mismo tiempo, contribuyen aún más a deteriorar la calidad de vida del ciudadano.

Para mejorar esta situación, en la ciudad existente, es necesario realizar grandes inversiones, planteando alternativas de solución, que permitan la ampliación del sistema vial, o el aumento de su oferta o *capacidad*. Las soluciones, que afectarán la geometría del sistema vial urbano, serán de corto, mediano y largo plazo, y deberán estar establecidas en el *Plan Vial y de Transporte*, contempladas en el *Plan de Desarrollo* que se tenga previsto en la ciudad.

Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que un país con un alto nivel de vida tendrá un excelente sistema vial y, por el contrario, un país atrasado tendrá una red vial deficiente.

Como punto de referencia, y a manera de ejemplo, según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT 2014) ^{[1]*} del municipio de Santiago de Cali en Colombia, se define la *infraestructura vial urbana* como “...una red que hace posible el desplazamiento de vehículos y personas a través del espacio urbano edificado, o en proceso de urbanización, buscando siempre la comodidad y seguridad de quienes por ella transitan, acorde con los motivos y frecuencia de sus desplazamientos. Así mismo, es el elemento ordenador urbano por naturaleza, por cuanto la localización de las diferentes actividades urbanas, y su dinámica en el tiempo, dependen de la amplitud y de las características operacionales de su malla vial...”.

Específicamente una *calle* o *vía urbana* es un espacio dispuesto para la circulación de vehículos y personas, que permite el acceso a la propiedad lateral (edificaciones y solares o lotes para futuras construcciones) que se encuentra a ambos lados. Por lo general, en el subsuelo de la calle se construyen las redes de las instalaciones para los servicios públicos urbanos, tales como: alcantarillado, agua potable, gas, electricidad, telefonía, televisión e internet.

Por lo anterior, la *geometría* del *sistema vial urbano*, se convierte en el elemento que le da estructura a la ciudad y el principal estabilizador de los usos del suelo, controlando de esta manera todas las actividades urbanas y sus limitaciones de expansión.

De esto se concluye que, los ingenieros, arquitectos y planificadores, requieren de *parámetros, normas y criterios*, para abordar de una manera óptima el *diseño geométrico* de los elementos de la red vial urbana, tanto en sus secciones de flujo vehicular continuo sobre tramos e intercambiadores a desnivel, como en aquellos puntos de flujo vehicular discontinuo en intersecciones a nivel (semaforizadas o de prioridad).

1.2 PLANEACIÓN VIAL URBANA ^[2,3]

El alto costo que representa la infraestructura vial, justifica un planeamiento cuidadoso por parte de los sectores implicados en esta tarea, incluyendo no sólo el análisis de las características netamente técnicas del trazado geométrico, sino también criterios sociales, económicos, culturales y ambientales, acertadamente involucrados.

El proyectar y construir nuevas vías en áreas urbanas, afecta la operación de los vehículos, por lo que es necesario también enfocar su diseño desde el punto de vista de la Ingeniería de Tránsito, es decir considerar la parte inherente a su operación. Es por esto que, todo diseño geométrico debe ser referido como diseño de tránsito, desarrollando los principios de localización y diseño, sujetándolos a los requerimientos del tránsito de paso y tránsito local y, considerando además el impacto sobre la comunidad.

Al definir el planeamiento vial de una zona geográfica, debe preverse el tipo de tránsito que ha de esperarse, hasta ciertos niveles de operación aceptables e incluso

* Corresponde al número de orden en las Referencias Bibliográficas

hasta la saturación. Evaluar dichas condiciones, implica realizar análisis detallados de los usos del suelo y en general de una diversidad de factores, enmarcados por sus propias características.

El proceso de planeación busca a partir de una situación actual, llegar a unas condiciones esperadas en el futuro. En el caso de la planeación vial, éstas últimas estarán representadas en alcanzar un nivel de operación o servicio adecuado, aprovechando al máximo los planteamientos anteriores. El factor más importante es prever que dicha red vial esté dispuesta de una manera tal que el período para la cual ha sido diseñada no resulte insuficiente, si se tiene en cuenta la alta inversión que ella implica.

Quizás en algunos casos, cuando la zona en estudio no se ha desarrollado completamente, puede parecer exagerada la red vial planteada, pero las implicaciones de un mal planeamiento pueden llegar a ser incontrolables, como ha sucedido en muchas de nuestras ciudades.

La red vial es un conjunto de elementos geométricos, y como tal debe manejarse, ya sea cuando se trate de planear o evaluar su funcionalidad cuando se haya cumplido en forma parcial o total.

De cualquier forma, así sea que se maneje de una manera general, el proceso metodológico de la planeación de una red vial en determinada área urbana, debe ser tal que pueda ser utilizado en la definición y evaluación de cualquier otra situación e incluso en una área geográfica diferente.

El procedimiento de planeación que se sigue para obtener las variables que determinarán la conformación de una red vial urbana, es tan importante como el diseño geométrico mismo.

Aunque muchos de los detalles de un trazado pueden ser definidos por un simple diseño, al realizar éste, es preciso partir de una información suficiente del tránsito y el transporte, con el fin de que el éxito en el funcionamiento pueda ser previsto.

Como marco de referencia, la *planeación del transporte*, se compone de una diversidad de problemas y procedimientos, los cuales varían con el detalle de la planeación a llevar a cabo y con el tipo de necesidad a satisfacer o resolver ^[2].

Como tal, la planeación del transporte y la implementación de planes específicos, de acuerdo con la Figura 1.1, incluye la siguiente secuencia de pasos de toma de información, análisis y de toma de decisiones ^[2,3]:

❶ Definición del problema

El punto de partida del proceso de planeación del transporte, es la identificación de una situación crítica que pone en evidencia un problema, que requiere ser estudiada, con el fin de solucionarla, optimizarla o mejorarla.

Por ejemplo, un problema, muy común en las vías de las ciudades de nuestro medio, es la invasión del espacio público, por el estacionamiento indebido de vehículos, por usuarios que buscan un determinado servicio aledaño a las vías.

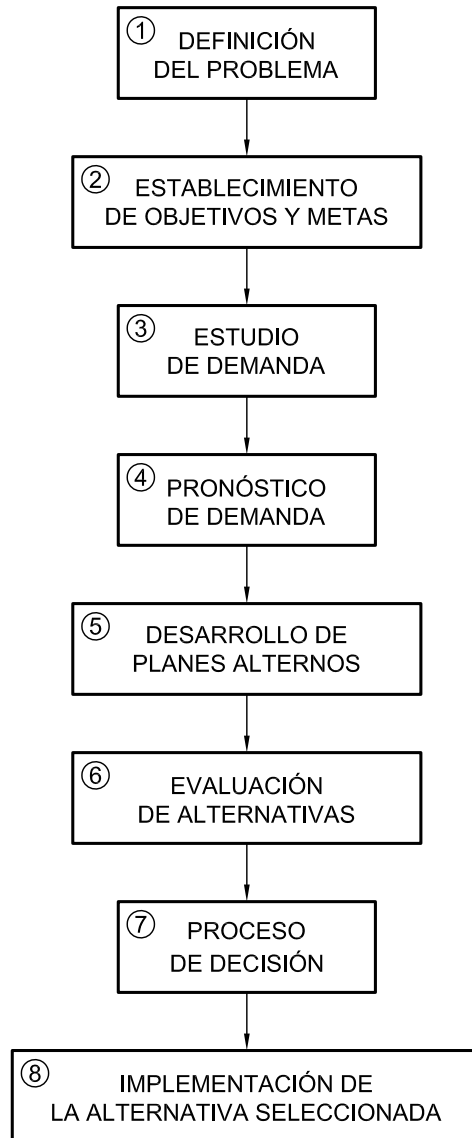


Figura 1.1. Proceso de planeación

Fuente: Adaptada de *Introduction to Transportation Engineering*: Hay William W.^[2] y Banks James H.^[3]

② Establecimiento de objetivos y metas

La planeación del transporte deberá tener propósitos específicos, los cuales se logran a través de metas o procesos que se deben seguir.

Todo objetivo está compuesto por una serie de metas, que unidas y alcanzadas conforman el objetivo propuesto. En el problema identificado anteriormente, sobre el estacionamiento ilegal, para tener como objetivo reducir la congestión en una vía urbana, es necesario llevar a cabo, entre otras, la meta de prohibir el estacionamiento de vehículos en la vía pública.

③ Estudio de demanda

Aquí se establece la base de datos a partir de la cual la planeación se continúa. Las demandas de transporte (viajes) que son cargadas por el sistema vial urbano (oferta), están en función, primordialmente, del uso del suelo y de la población.

A través del estudio de la demanda se identifica el crecimiento histórico y el estado actual de la población, el uso del suelo, la industria, el comercio y el uso de los sistemas de transporte existentes.

La demanda de transporte se establece a través de los estudios de origen y destino, con lo que se caracteriza el comportamiento de los viajes, en términos de orígenes, destinos, propósitos, períodos de ocurrencia a lo largo del día, modos y rutas de viaje.

④ Pronóstico de demanda

Los pronósticos se realizan mediante el desarrollo de modelos de transporte, los cuales parten del número de viajes realizados por los usuarios (generación de viajes), desde sus orígenes hasta sus destinos (distribución de viajes), en los diferentes modos de transporte utilizados (partición modal), a lo largo de las rutas seguidas (asignación de viajes).

Estas demandas luego serán proyectadas al futuro, con la consiguiente asignación a rutas, las cuales deberán ser comparadas con las ofertas de transporte disponibles, con el propósito de prestar una determinada calidad de servicio, limitada por su capacidad.

⑤ Desarrollo de planes alternos

Se deberán considerar todas las posibles soluciones (oferta), al problema identificado, que llenen los objetivos y metas, y satisfagan (den servicio) a las demandas de viaje proyectadas. Las dos o tres alternativas más viables, deberán desarrollarse con cierto detalle.

⑥ Evaluación de alternativas

Las alternativas seleccionadas, se evalúan en términos de la factibilidad técnica, económica y financiera; los costos; las demandas; los impactos ambientales; etc.

Las evaluaciones deben considerar la efectividad de las alternativas de solución, esto es, si ellas cumplen los objetivos planteados.

Para cada solución posible, deberán desarrollarse todas las implicaciones que ellas conllevan; así por ejemplo, un criterio muy importante a tener en cuenta es la

aceptación de determinada solución por parte de la ciudadanía, para lo cual se acostumbra llevar a cabo las audiencias públicas.

⑦ Proceso de decisión

En los Departamentos Administrativos de Planeación de la ciudad, existe un grupo de toma de decisiones, al cual se le presentan las alternativas viables, para su aceptación y autorización.

⑧ Implementación de la alternativa seleccionada

Una vez, que determinada alternativa ha sido aprobada y autorizada por los entes decisorios, se deberán establecer los procedimientos de financiación, que permitan preparar los planes y diseños finales, la adquisición de predios, la licitación y la construcción; seguida de la etapa final, consistente en la operación o puesta en servicio de la solución seleccionada.

Para la implementación de la alternativa o del plan seleccionado, debe existir un intercambio de ideas entre planeadores e implementadores o desarrolladores.

La implementación de un plan, involucra un proceso continuo o de ajustes, debido a las situaciones cambiantes y de adaptación a los aspectos reales desconocidos que se vayan encontrando en el tiempo, los cuales muchas veces son imposibles de predecir ^[4].

Por todo lo anterior, en general, para que un plan urbano sea exitoso, debe poseer las siguientes cualidades ^[4]:

- **Realismo**

Determinado por la posibilidad de poder llevar a cabo un plan, lejos de que sea una utopía.

- **Flexibilidad**

Debe ser lo suficientemente flexible, con el fin de adaptarlo a la realidad cuando algunos factores se modifiquen.

- **Dinamismo**

Un plan urbano no puede tener un punto final, porque en cuanto se satisfacen ciertas necesidades, surgen otras, formando una cadena no interrumpida. La cualidad de dinamismo se obtiene a través de una flexibilidad y de la adición constante de planes.

- **Continuidad**

Para que un plan urbano sea eficiente, necesita tener continuidad en su elaboración, construcción y operación, es decir, se debe planear de manera que al tener

algún cambio en su desarrollo, debido a la modificación de algunos factores, se pueda continuar con los lineamientos trazados.

- **Integridad**

La integridad de un plan está dentro de dos grandes conceptos, el espacio y el tiempo. El espacio comprende la totalidad de las actividades de la población, y el tiempo se obtiene a través de los programas de trabajo y de prioridades de inversión.

1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE VÍAS URBANAS

A continuación se describen los factores más importantes que intervienen en el diseño geométrico de vías urbanas, ya sea que ellos estén directamente relacionados con el diseño mismo en un proyecto específico (factores cuantitativos), o bien que lo afecten indirectamente desde clases o grupos externos (factores cualitativos); toda vez que, el proyecto a realizar incluye la caracterización del área de estudio y su zona de influencia ^[4,5].

❶ Factores Políticos

Cualquier decisión relacionada con un proyecto específico de diseño vial urbano debe estar acorde con las *políticas* existentes en materia de transporte urbano, las cuales están plasmadas en los planes de desarrollo, originadas de las más altas esferas administrativas en el ámbito nacional, regional y municipal.

Por otra parte, la existencia de los planes de ordenamiento territorial (POT) y, a su vez, de los planes viales, de tránsito y transporte, son factores decisivos en los diseños de los elementos de la infraestructura vial urbana.

El *Plan Vial, de Tránsito y Transporte* de un municipio es el conjunto de objetivos, acciones, programas, proyectos y decisiones de tipo administrativo, institucional, financiero y de ejecución; orientado a regular el desarrollo ordenado de la infraestructura vial, de tránsito y transporte del municipio.

El proyectista o diseñador debe conocer y saber interpretar las políticas y los planes, pues éstos condicionan, por ejemplo, la jerarquización de las vías y naturalmente el diseño geométrico específico que deberá tener un elemento vial dentro de todo el sistema vial urbano de la ciudad o municipio.

El consultor o proyectista también debe conocer, así sea a grandes rasgos, la legislación o disposiciones que en el campo de su especialidad existan, o hacerse asesorar debidamente ante la posibilidad de que aparezcan inconvenientes posteriores, que atrasen o interrumpan una obra en ejecución.

❷ Factores sociales

El principal factor social en el diseño geométrico de cualquier elemento vial, es la *seguridad ciudadana*, la cual es desarrollada por el gobierno municipal, con la

colaboración de la ciudadanía y de otras organizaciones de bien público, destinada, entre otras cosas, a asegurar su convivencia pacífica y a la utilización ordenada de vías y de espacios públicos.

En este sentido, el diseño geométrico debe estar directamente correlacionado con la dinámica de la operación de los vehículos y el comportamiento de los conductores, pasajeros y peatones. Invertir en este aspecto es mucho más rentable y benéfico, ante el costo asociado con un accidente por un mal diseño desde este punto de vista.

③ Factores de uso del suelo

Un entorno urbano existente siempre presenta un grado de continuidad, tanto en sus actividades como en su espacio, que puede verse alterado por la aparición de una obra de infraestructura vial, provocando un desequilibrio de equipamiento social, de servicios, etc., lo cual se suele traducir en un cambio importante en el *uso del suelo adyacente*.

Por lo tanto, en la evaluación de los proyectos, deben ser considerados estos aspectos, ya sea por el deterioro que se producirá y así tomar acciones, o por el contrario, por el incremento del valor social de la propiedad colindante a lo largo del proyecto vial en cuestión.

④ Factores ambientales

En el entorno o medio ambiente donde se llevará a cabo un proyecto vial, en el diseño geométrico deberá tenerse en cuenta su *impacto visual, acústico y contaminante*.

El deterioro estético de las ciudades, tanto en sus escenarios arquitectónicos y paisajísticos como en sus calles, junto con el aumento de la contaminación, han motivado el replanteamiento del problema, encaminado primero que todo hacia el beneficio general de la comunidad, antes que el beneficio particular.

Desde el punto de vista *visual*, el diseño geométrico debe ser orientado de tal manera que existan áreas que permitan la plantación de especies arbóreas adecuadas y así integrar la vía y los vehículos a un paisaje más agradable.

En cuanto a los problemas *acústicos* provocados por el ruido, el diseñador geométrico puede tomar algunas medidas que tiendan a atenuar su incomodidad, aunque es evidente que gran parte de la solución al problema estará en manos de los constructores de vehículos e inmuebles, de los usuarios de aquellos y de la legislación pertinente. Se atenúa el ruido con barreras naturales o pantallas estructurales.

Y en lo referente a la *contaminación atmosférica*, puede decirse que la responsabilidad del proyectista es producir un tránsito fluido, diseñando y operando el sistema vial bajo condiciones en lo posible óptimas, disminuyendo la congestión. De allí que, la solución al problema de la contaminación se dejará en manos de los industriales y los legisladores, los que tendrán la responsabilidad de mitigar sus efectos nocivos y de hacer cumplir las leyes al respecto, siendo responsabilidad del proyectista garantizar en sus diseños la fluidez vehicular.

5 Factores fisiográficos

Los factores *físicos del ambiente* que afectan al diseño geométrico urbano son la infraestructura existente, el equipamiento, la topografía, la geología, la hidráulica y el clima de la ciudad.

Una ciudad, al ser un espacio donde el suelo y sus usos son de gran relevancia económica, los factores físicos que más condicionan sus trazados viales, provienen de la fisonomía urbana de su medio ambiente.

6 Factores económicos

Este aspecto es fundamental en el proceso de diseño, ya que los estudios económicos son los que en última instancia determinan la *factibilidad* de un proyecto. Es un proceso de evaluación racional de alternativas, mediante el análisis de los *costos*, de construcción, operación, mantenimiento, y otros agregados; y los *beneficios*, de índole aún más variada.

7 Factores funcionales

Los factores funcionales se refieren al enfoque del diseño geométrico desde un punto de vista estrictamente *técnico*, con miras a resolver un problema bien concreto y que es ofrecer un servicio u *oferta vial* que satisfaga a una *demanda de transporte*. En este sentido, el proyectista deberá conocer muy bien las características de dicha demanda y la forma cómo los distintos elementos del diseño, por separado y conjuntamente, la atenderán.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA OFERTA VIAL Y DE LA DEMANDA VEHICULAR

En el diseño geométrico de vías urbanas, es de suprema importancia conocer la relación entre el *diseño de la oferta vial* y el *estudio de la demanda vehicular*, para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes características ^[4,5]:

1 Características de los usuarios

El diseño de los elementos de una infraestructura vial, depende de las características físicas y de comportamiento de los usuarios, sean éstos peatones, pasajeros o conductores.

Se considera como *peatón*, cualquier persona que camine por la ciudad, incluyendo las personas con movilidad reducida. Para el diseño de los espacios peatonales, el proyectista debe tener en cuenta el entorno de la vía, el espacio que ocupan los distintos tipos de peatones (densidad) y las velocidades de desplazamiento.

Se entiende por *pasajero* a la persona que viaja en un vehículo sin conducirlo ella misma. La característica más importante a considerar en determinado proyecto vial urbano, es el tiempo que consumen en las maniobras de ascenso y descenso en los vehículos en que se transportan.

El *conductor* es la persona que conduce un vehículo automotor de cualquier tipo, lo que lo convierte en el protagonista principal del tránsito, donde es importante conocer su conducta según los motivos de viaje, su experiencia en la conducción, su visión y su percepción-reacción.

② Características de los vehículos

Las *dimensiones* de los vehículos y sus características *operacionales* o de movilidad son factores de incidencia relevante en el diseño geométrico urbano. El largo, el ancho y la altura de los vehículos condicionan en gran medida los diversos elementos de la sección transversal, los radios de giro, los sobreanchos en curvas, los gálibos verticales bajo estructuras y las distancias laterales libres de obstáculos.

La *velocidad* tiene que ver con sus límites máximos permitidos y con la inclinación transversal de las calzadas (bombeos y peraltes).

El *peso* de los vehículos es uno de los factores determinantes en el cálculo estructural del pavimento y de las estructuras.

③ Características operacionales de la demanda

Es imposible diseñar un elemento vial que funcione eficazmente si no se realiza un análisis sistemático de los *flujos* vehiculares que éste deberá servir. Se deberán conocer su cantidad o *intensidad* y su *composición*, lo mismo que la *velocidad* con que se desplazan.

No es posible conocer la demanda en términos ideales, siempre será preciso hacer un pronóstico de ella previo al proyecto, intentando luego resolver lo más razonablemente posible las indeterminaciones que resulten, que serán menos mientras más detallados sean los estudios que se hagan, y más adecuadas a la situación las metodologías empleadas en condiciones prevalecientes o reales.

④ Características de los viajes

Se deberá conocer el *origen*, el *destino* y los motivos de los viajes, lo mismo que su longitud, sean éstos cortos, medianos o largos. También es importante saber la *ocupación vehicular*.

⑤ Características de la oferta

Conocida o estimada la demanda que actuará sobre un elemento geométrico vial u oferta, corresponde satisfacerla, confiriéndole a este elemento vial unas características geométricas y materiales que aseguren un desplazamiento eficiente y seguro a los volúmenes vehiculares de diseño considerados.

De la oferta se debe analizar detenidamente: la *velocidad*, la *capacidad* en sus diversos elementos como andenes y cruces peatonales, vías de flujo continuo, intersecciones, ramales o enlaces, zonas de entrecruzamiento, etc.

De igual manera, al proyecto geométrico, se le debe analizar la *visibilidad*, tanto horizontal como vertical.

Finalmente, se puede decir que el proyectista con la ayuda de todos los factores y características anteriores, deberá ser capaz de diseñar los distintos elementos viales, que permitan de una manera segura, el flujo de peatones, ciclistas y vehículos.

La comodidad del usuario en su trayecto, la accesibilidad de sus puntos de origen y destino y la velocidad a la que éste podría viajar, serán el resultado del compromiso entre estos factores y las implicaciones ambientales y económicas de los posibles diseños geométricos a realizar.

1.5 PREMISAS DEL PROYECTO DE VÍAS URBANAS

Los criterios y especificaciones en el proyecto de vías urbanas se basan en las siguientes premisas ^[4]:

- Establecer una *red de calles* clasificada y jerarquizada en *sistemas*. Esto permitirá obtener una estructura vial que servirá a los diversos usos del suelo, previendo un desarrollo lógico de la comunidad. Cada sistema de calles servirá a objetivos específicos, así por ejemplo, las *autopistas* serán para volúmenes de tránsito de paso, y las *calles locales* serán para permitir el acceso directo a las propiedades laterales.
- Los objetivos de cada sistema influirán en la elección de los elementos estructurales, las especificaciones geométricas o parámetros del proyecto y el uso de los diferentes dispositivos de control del tránsito.
- La infraestructura de la ciudad deberá disponer de espacios suficientes para estacionamientos, áreas de ascenso y descenso de pasajeros, y sitios de cargue y descargue de mercancías, para así formar parte integral del sistema vial urbano.

Los factores o requisitos del diseño a tener en cuenta se agrupan en *externos* o previamente existentes, e *internos* o propios de la vía y su diseño.

Los *factores externos* están relacionados, entre otros aspectos, con la topografía del terreno natural, la conformación geológica y geotécnica del mismo, el volumen y características del tránsito actual y futuro, los valores ambientales, la climatología e hidrología de la zona, los desarrollos urbanísticos existentes y previstos, los parámetros socioeconómicos del área y la estructura de las propiedades.

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

1.6 FUNCIÓN DE LAS VÍAS URBANAS

Primordialmente, las vías urbanas estructuran adecuadamente el espacio urbano, para así satisfacer racionalmente la demanda de viajes, permitiendo hasta donde sea posible el equilibrio entre el transporte público y privado, proporcionando la infraestructura vial para el transporte de personas y mercancías.

Específicamente, como una primera función, las vías urbanas atienden las necesidades de *movilidad*, esto es, permiten la circulación, creando los intercambios entre las diversas actividades que se desarrollan en la ciudad y facilitando la movilización de sus habitantes de una manera rápida, confortable y segura. La movilidad es el grado de facilidad para desplazarse ^[6].

En el otro extremo, la segunda función es dar *accesibilidad* a las distintas propiedades o usos del suelo en las áreas colindantes. La accesibilidad es el grado de facilidad que ofrece una vía para comunicar el origen de un viaje con su destino ^[6].

La mayoría de los problemas relacionados con el incremento de los accidentes y el deterioro ambiental, provienen de conflictos entre las funciones de movilidad y accesibilidad ^[7].

Para facilitar la *movilidad* es necesario disponer de vías rápidas, y para tener *accesibilidad* directa es indispensable contar con vías lentas. En este sentido, es recomendable que la red vial sea estructurada en sistemas, donde las funciones de *movilidad* y *accesibilidad* asumen proporciones variables y complementarias.

De esta manera, los volúmenes de tránsito que circulan a través del sistema vial urbano, se clasifican en tránsito de paso y tránsito local. El volumen de *tránsito de paso*, es el que se genera cuando los usuarios atraviesan toda la ciudad con características de alta *movilidad*. El volumen de *tránsito local*, se caracteriza por viajes cortos en áreas de interés de los usuarios, como sitios comerciales, de servicios, de negocios, educativos, residenciales, industriales, etc., con características de alta *accesibilidad*.

Los volúmenes de tránsito, experimentan variaciones significativas durante el día, de manera muy similar en todas las vías. Los mayores volúmenes vehiculares ocurren en los períodos que preceden al inicio y al fin de las actividades normales en la ciudad, o sea, en las primeras horas de la mañana (alrededor de las 7 am) y en las horas al final de la tarde (alrededor de las 6 pm). Es por esto que, para el dimensionamiento de las vías se utilice el volumen vehicular de la hora pico, que es el mayor volumen horario del día ^[7].

1.7 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA VIAL URBANO

1.7.1 Criterios de clasificación

En términos generales, la clasificación funcional de las vías urbanas está basada en el *tipo de tránsito* que permite, en el *uso del suelo* colindante y en el *espaciamiento* de las vías, considerada la red vial en su conjunto.

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial urbana se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes calles, para así atender las necesidades de *movilidad* y *accesibilidad*.

Los criterios a ser establecidos se relacionan con el funcionamiento de la red vial, la capacidad y el nivel de servicio y las características físicas de las vías.

En la Figura 1.2 se presenta la *clasificación funcional* de una red vial urbana, en función de su *movilidad* y *accesibilidad*, constituida en tres grandes grupos:

- Red vial *primaria*: autopistas y arterias mayores.
- Red vial *secundaria*: arterias menores y vías colectoras.
- Red vial *terciaria*: calles locales

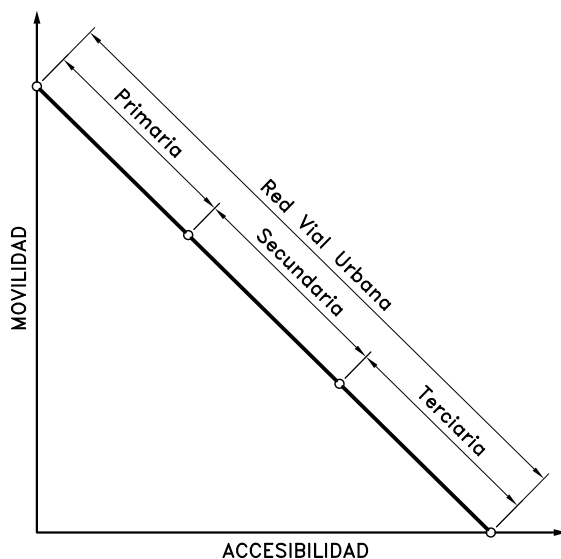


Figura 1.2. Clasificación funcional de una red vial urbana

Las *vías primarias* son de accesos controlados, destinadas a proveer alta movilidad a grandes volúmenes de tránsito de paso y poco o nulo acceso a la propiedad lateral; mientras que, las *vías terciarias* son de accesos no controlados destinadas a proveer fácil acceso a la propiedad colindante a volúmenes de tránsito menores, y raramente utilizadas por el tránsito de paso. Y entre estas dos, las *vías secundarias* son de accesos parcialmente controlados, que proveen aún una buena movilidad y cierta accesibilidad a volúmenes de tránsito medianos.

Junto a las normas y especificaciones de cada red, debe existir algún grado de conexión de todo el sistema vial, que no altere las funciones particulares de cada una de ellas ^[5].

La relación entre las diferentes redes, con base en la movilidad y accesibilidad, está determinada por dos factores principales: por un lado, cada red debe mantener en toda su extensión las características geométricas y de operación, asociadas a la demanda de tránsito que sirve, constituyendo un conjunto de vías homogéneo y cerrado. Por otro lado, los viajes suelen incluir etapas que transcurren en distintas

redes según combinaciones de movilidad y accesibilidad específicamente requeridas [5].

En la Figura 1.3 también se ilustra, desde el punto de vista de ofrecer mayor o menor movilidad y accesibilidad, la *clasificación funcional universal* de un sistema vial urbano.

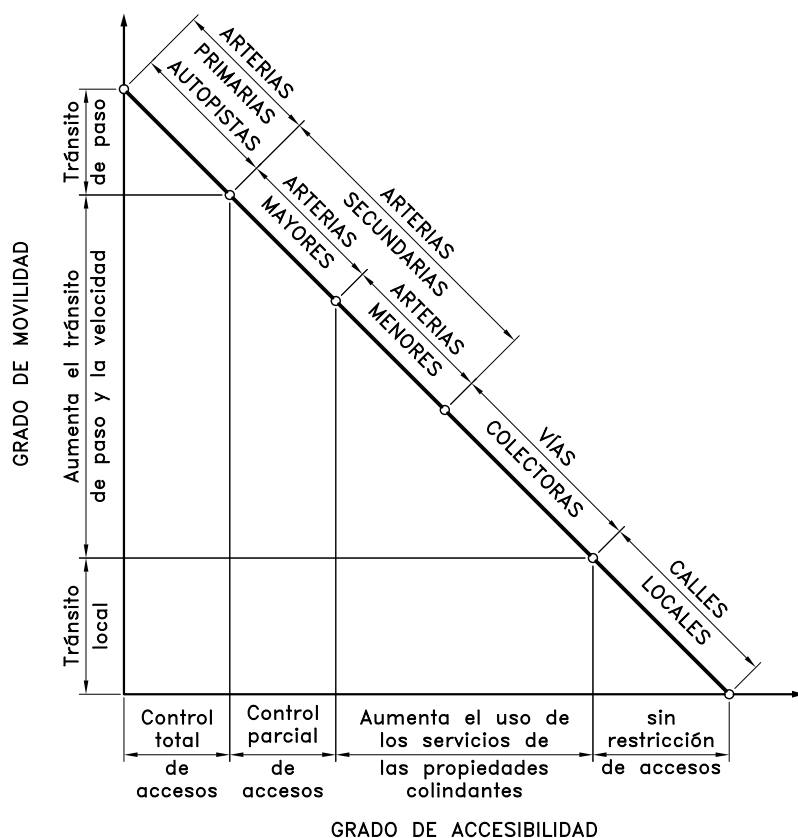


Figura 1.3. Clasificación funcional universal de un sistema vial urbano

Con base en la clasificación funcional anterior, en el esquema de la Figura 1.4 se ilustra la jerarquía de una red vial urbana dentro de un territorio municipal.

A su vez, por ejemplo, para un vehículo que desee trasladarse desde el punto A (su residencia) al punto B (su destino), en el esquema ampliado de la Figura 1.5, se muestra la jerarquía de los movimientos que debe realizar, a lo largo de las siguientes trayectorias:

- Parte desde el punto A en un movimiento menor (inicial) sobre la Calle Local.

- Continúa girando a la derecha sobre la Calle Colectora a lo largo del barrio o zona residencial.
- Girando a la izquierda, se integra a la Arteria Menor, alejándose de la zona residencial.
- Girando hacia la derecha a través de un enlace distribuidor toma la Arteria Mayor, sobre un recorrido más largo y a una mayor velocidad.
- Finalmente, girando de nuevo hacia la derecha a través de un ramal de enlace de transición, toma la Arteria Primaria, efectuando el movimiento principal (final) para llegar al punto B (su destino).

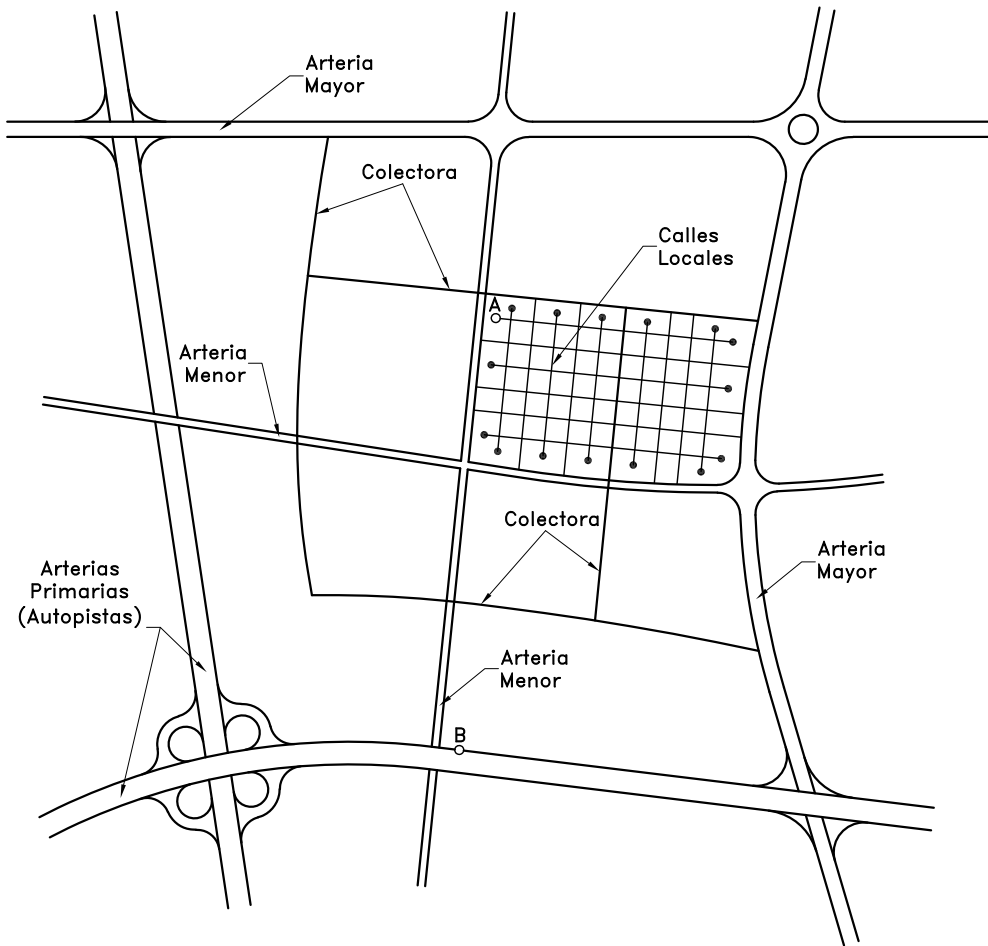


Figura 1.4. Jerarquía de una red vial urbana

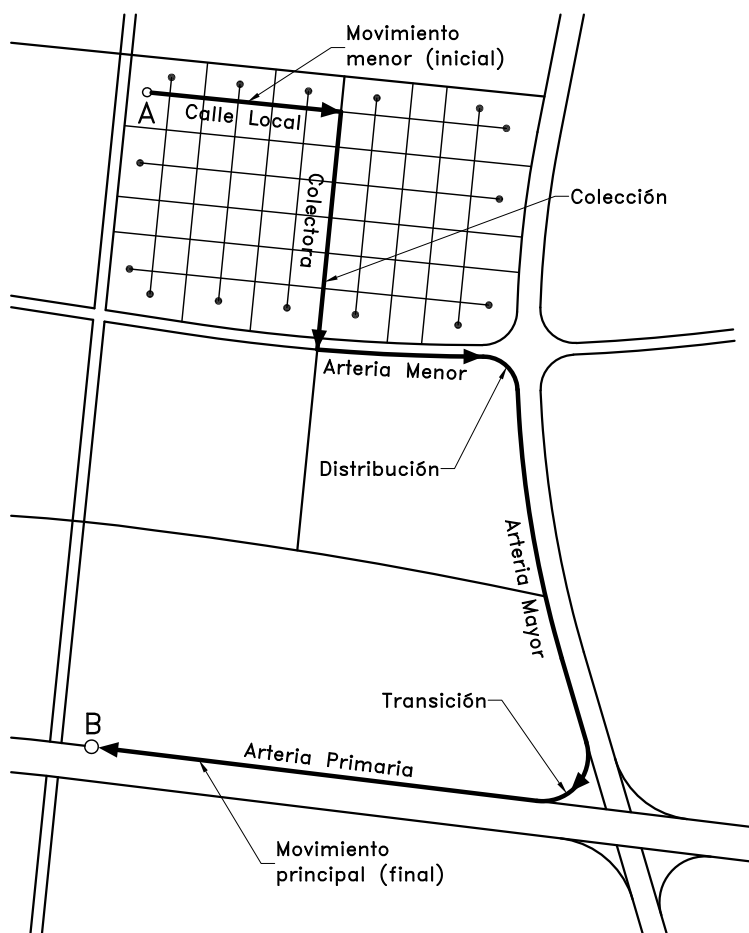


Figura 1.5. Jerarquía de movimientos

1.7.2 Características funcionales de cada sistema de vías

La clasificación y jerarquización vial expuesta, se fundamenta en la demanda de transporte a servir y en las actividades que se desarrollan a lo largo de las vías, con las siguientes características funcionales ^[1,4,5,7]:

❶ Arterias primarias y secundarias

Representan la estructura celular que conecta entre sí al conjunto de núcleos que forman la ciudad, uniendo puntos satélites. Esto es, conforman la *red vial básica* de la ciudad, por lo que determinan la estructura y forma urbana.

Los volúmenes de tránsito que canalizan, corresponden básicamente a largos desplazamientos entre sectores urbanos y suburbanos distantes.

No deben tener, hasta donde sea posible, limitaciones a su continuidad, con el fin de que puedan cargar grandes volúmenes de tránsito a velocidades medias importantes.

② Arterias primarias tipo autopistas

Son vías expresas que establecen la conexión entre el sistema interurbano de carreteras y el sistema vial urbano.

Unen zonas de elevada generación de tránsito, formado por grandes volúmenes vehiculares que se mueven a altas velocidades de orígenes y destinos distantes.

Son vías de accesos totalmente controlados, donde la incorporación a las propiedades colindantes se realiza mediante calles laterales o paralelas de servicio.

Todos los cruces con otras vías se realizan a desnivel, donde las entradas y salidas en los intercambiadores o distribuidores se proyectan con velocidades relativas mínimas entre corrientes vehiculares.

En general, las velocidades de diseño varían entre 80 km/h y 100 km/h. El espaciamiento varía entre 4 km y 10 km desde áreas centrales hasta áreas de expansión.

③ Arterias mayores

Son vías de accesos parcialmente controlados que conectan complejos comerciales y/o industriales de impacto urbano, donde los cruces o intersecciones pueden ser a desnivel o a nivel con semáforos.

Alojan grandes volúmenes de tránsito, correspondientes, en general, a vehículos livianos. Cuando su demanda de tránsito es muy alta, mediante mejoras se convierten en autopistas.

La velocidad de diseño es del orden de 80 km/h, y el espaciamiento varía de 1.5 km a 4 km, en lo posible 2 km.

④ Arterias menores

Son vías con intersecciones a nivel, controladas en gran parte con semáforos, con o sin separador central.

Actúan como ejes distribuidores de tránsito, conectando entre sí las arterias mayores, permitiendo un alto porcentaje de vehículos convencionales de transporte público, con baja velocidad de operación y alta rotación de su demanda.

Son menos largas que las arterias mayores, con velocidades de diseño del orden de los 60 km/h, y con espaciamientos promedio cada 2 km.

⑤ Vías colectoras

Ligan las arterias mayores y menores, penetrando a los sectores residenciales, urbanizaciones o barrios, distribuyendo el tránsito por las vías locales. A su vez, recogen el tránsito de las calles locales y lo canalizan hacia el sistema arterial. Estos volúmenes de tránsito son intensos pero de corto recorrido.

Son generalmente de una calzada con circulación en ambos sentidos. Se presentan zonas de estacionamiento, ascenso y descenso de pasajeros, cargue y descargue de mercancías. Permiten el acceso a la propiedad colindante. Se consideran como el último nivel para el transporte público colectivo. La velocidad de diseño es de 50 km/h, y el espaciamiento no debe ser inferior a 150 m, preferiblemente cada 800 m.

⑥ Vías locales

Se utilizan para el acceso directo a la propiedad individual, a partir de las vías colectoras y, ocasionalmente, de las vías arterias menores.

Sus volúmenes vehiculares son muy bajos y de recorrido corto, compuestos por vehículos particulares livianos, permitiendo el estacionamiento sobre la vía.

Deben disponer de áreas amplias para la circulación peatonal hacia el sistema de vías colectoras, en procura de acceder al sistema de transporte público.

Generalmente son de una calzada de doble sentido, donde la velocidad de circulación se controla mediante resaltos. La velocidad de diseño es de 40 km/h, y el espaciamiento promedio es del orden de los 100 m.

⑦ Otras vías

Dentro de la estructura urbana y de una manera más integral, aparte de las vías anteriores, deben considerarse las siguientes:

Vías marginales:

Conjunto de vías que separan áreas urbanizables de áreas no urbanizables, o áreas construidas de terrenos destinados a áreas libres, o áreas construidas de terrenos de reserva forestal, recreacionales, de servicios públicos, etc.

Vías paisajísticas:

Aquel conjunto de vías que por su localización y características topográficas y de ocupación de sus zonas colindantes, deben tener un tratamiento especial en sus zonas de aislamiento. Generalmente son aquellas vías paralelas a los ríos que delimitan las zonas de protección de ríos, o localizadas en áreas con visuales paisajísticas de interés, muy conocidas en nuestro medio como Avenidas o Bulevares.

Vías semipeatonales:

Aquellas en las que predomina el área para la circulación peatonal sobre la vehicular, para lo cual sólo se permite una calzada con un solo carril de 3 m de ancho como mínimo, con bahías exclusivas para el ascenso y descenso de pasajeros por lo menos cada 80 m.

Vías peatonales:

Son aquellas destinadas exclusivamente al uso de los peatones, con posibilidad de ingreso de vehículos automotores, a bajas velocidades y en determinados horarios o en situaciones especiales.

Ciclorrutas:

Vías destinadas preferencialmente a la circulación de bicicletas.

1.7.3 Dosificación de la red vial urbana

La densidad o dosificación es variable en los distintos países, pero de una manera general el sistema vial urbano universal se distribuye así:

- Arterias primarias: 5.0 %
- Arterias secundarias: 20.0 %
- Vías colectoras: 15.0 %
- Calles locales: 60.0 %

A manera de ejemplo, según el Manual de Criterios de Diseño Geométrico Vial del Sistema de Movilidad para el Área Urbana del Municipio de Santiago de Cali, del Departamento administrativo de Planeación Municipal ^[8], la red vial urbana de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial vigente (POT 2014) ^[1], se encuentra constituida por aproximadamente 2700 km (teniendo en cuenta el eje de la vía y no considerando el número de calzadas).

Por otra parte, también de acuerdo al POT 2014 ^[1] de la ciudad de Cali, la malla vial se encuentra jerarquizada así:

- Vías interregionales: 3.4 %
- Arterias primarias: 12.5 %
- Arterias secundarias: 8.5 %
- Vías colectoras: 7.6 %
- Calles locales: 68.0 %

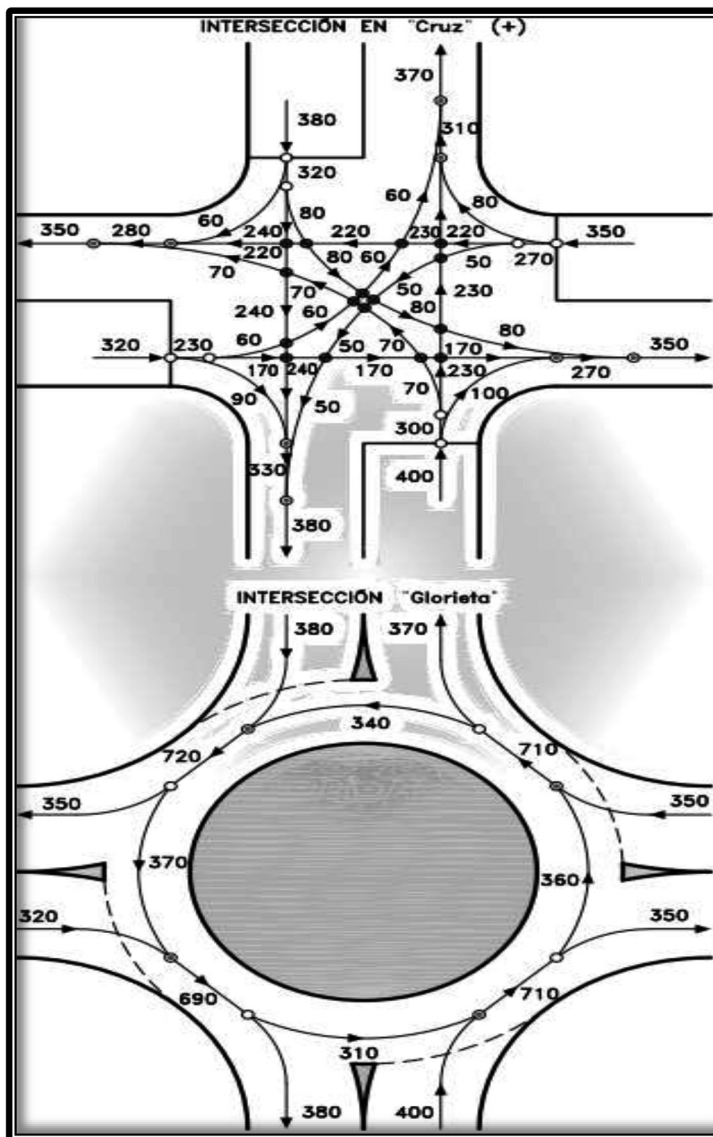
Comparado con el patrón universal anterior, en la ciudad de Cali, aparentemente hay exceso de vías Arterias Primarias y una escasez de vías Arterias Secundarias. Pero, la realidad es que muchas de las vías Arterias Primarias, por su sección transversal y sus dispositivos de control, algunas aún con intersecciones semaforizadas, funcionan como vías Arterias Secundarias.

Puede verse también, que faltan Vías Colectoras, y todavía hay exceso de Calles Locales. Esta disparidad en la jerarquía de las vías, en este caso de la ciudad de Cali, se manifiesta en los problemas actuales de congestión vehicular, lo que aunado a la presencia de más vehículos cada día, de todo tipo, hacen que la movilidad en la actualidad sea deficiente.

Además, es muy común ver hoy en día, que las oficinas de planeación de muchas ciudades, están concediendo licencias de construcción en altura, sobre todo en su periferia, aumentando desmedidamente la demanda de transporte, sin un crecimiento paralelo de la oferta de vías hacia estas zonas, empeorando de esta manera la movilidad cada vez más. Este ejemplo específico se observa hoy en día en las áreas urbanas del sur de la ciudad de Cali, donde además se encuentran la mayoría de los centros de educación y recreación.

CAPÍTULO 2

MANIOBRAS VEHICULARES EN INTERSECCIONES



CAPÍTULO 2

MANIOBRAS VEHICULARES EN INTERSECCIONES

2.1 TIPOS DE MANIOBRAS^[9]

Quando un vehículo circula por una intersección, según donde se encuentre, el conductor puede cambiar su trayectoria sobre la cual ha venido conduciendo, efectuando una maniobra de *divergencia*, e incorporarse a otra de diferente trayectoria mediante una maniobra de *convergencia*, o cruzar otra trayectoria transversal realizando una maniobra de *cruce*.

Las maniobras de divergencia, convergencia y cruce generan puntos de conflicto entre los vehículos que intervienen en ellas. En las intersecciones a nivel, el área de conflicto comprende la zona de influencia en la cual los vehículos que se aproximan pueden causar molestias a los demás conductores, debido a las maniobras realizadas a través de ellas.

En el esquema de la Figura 2.1, se ilustran estos tres tipos de maniobras, donde la operación de los vehículos se realiza de la siguiente manera:

❶ Maniobra de divergencia

Los vehículos llegan en una trayectoria única y *divergen* en trayectorias diferentes. El área de conflicto comienza en el punto donde se reduce la velocidad del vehículo que diverge, influyendo en la del vehículo que lo sigue, y termina donde el vehículo divergente sale de su trayectoria original.

La maniobra de divergencia puede ser hacia la derecha, hacia la izquierda, doble o múltiple, y corresponde a la maniobra que menos molestias causa a los conductores que en ella intervienen.

De esta manera, la maniobra de divergencia, es la más simple y fácil de realizar, dentro de las diversas maniobras que ocurren en una intersección, puesto que se