GUÍA PARA EL DISEÑO DE VÍAS URBANAS PARA BOGOTÁ D.C.

BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN TRÁNSITO Y TRANSPORTE - PIT

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO

ING. DIEGO SÁNCHEZ FONSECA
DIRECTOR DE ANÁLISIS Y PROGRAMACIÓN SECTORIAL

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

ING. WILLIAM FERNANDO CAMARGO TRIANA
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

ING. JUAN CARLOS MONTENEGRO ARJONA
SUBDIRECTOR GENERAL DE DESARROLLO URBANO

ING. SULLY MAGALIS ROJAS BAYONA
DIRECTORA TÉCNICO ESTRATÉGICO

ING. JUAN PABLO NIETO MORA
ESPECIALISTA EN DISEÑO GEOMÉTRICO

ING. EDNA RODRÍGUEZ ALEMÁN
ESPECIALISTA EN TRÁNSITO

ARQ. ANDRÉS RICARDO PÁEZ
ESPECIALISTA EN URBANISMO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ING. WILLIAM CASTRO GARCÍA
DIRECTOR DE PROYECTO

ING. CRISANTO SÁENZ SAAVEDRA
COORDINADOR TÉCNICO

ING. DIANA PATRICIA RODRÍGUEZ ESPINOSA
ESPECIALISTA EN DISEÑO Y SEGURIDAD VIAL

ING. JOHN STICK HERNÁNDEZ DÍAZ
ESPECIALISTA EN TRÁNSITO

ARQ. CARLOS CABAL HIDALGO
ESPECIALISTA EN URBANÍSMO

ARQ. MARÍA CAROLINA GONZÁLEZ GIRALDO
ESPECIALISTA EN DISEÑO URBANO

ING. YEFERSON ALEXANDER GÓMEZ MATIZ
INGENIERO DE APOYO

ING. HÉCTOR ALEJANDRO PUENTES ROJAS
INGENIERO DE APOYO

DISEÑUM TREMENS
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

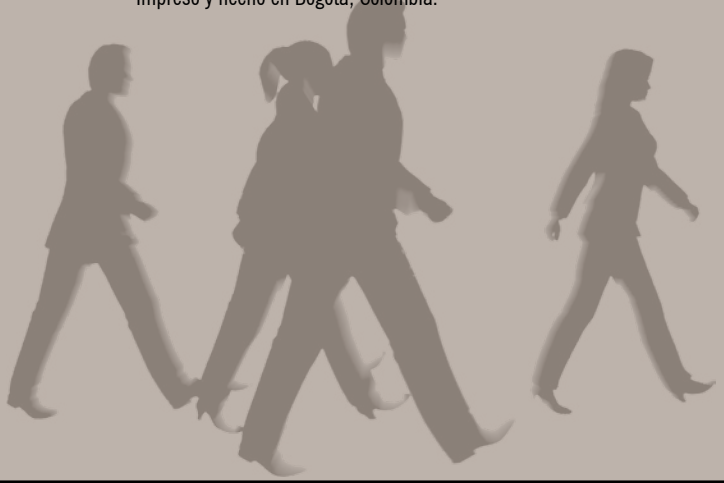
© CAF
© Universidad Nacional de Colombia
© IDU

ISBN xxx

Este documento es la Versión 1 y es susceptible de actualizaciones.

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

Impreso y hecho en Bogotá, Colombia.



La Corporación Andina de Fomento, el Instituto de Desarrollo Urbano y la Universidad Nacional de Colombia presentan la Guía de Diseño Geométrico Urbano para la ciudad de Bogotá, enfocada en la búsqueda de proyectos de alta calidad técnica. La meta principal del documento es establecer procedimientos y criterios coherentes, secuenciales, dinámicos e integradores, que permitan generar diseños que incluyan a peatones, ciclistas, transporte público y vehículos particulares de una forma segura.

Esta Guía es el resultado del esfuerzo mancomunado del equipo técnico de la Universidad Nacional de Colombia, específicamente de la Sección Académica de Vías y Transporte de la Facultad de Ingeniería, en conjunto con la Dirección Técnica Estratégica y la Dirección Técnica de Proyectos del Instituto de Desarrollo de Urbano de Bogotá, quienes con el apoyo de la Corporación Andina de Fomento aunaron esfuerzos por la generación de un documento en pro del diseño urbano seguro, eficiente, e incluyente de los modos no motorizados y el transporte público.

Se agradece especialmente a las firmas Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S., que a través de su experiencia brindaron las herramientas necesarias para la incorporación de ejemplos, gráficas, ideas originales y procedimientos propios, que enriquecieron y dinamizaron la presentación y el contenido temático de la Guía.

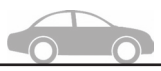


TABLA DE CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN	9
INTRODUCCIÓN	11
MARCO NORMATIVO	12
PRESENTACIÓN Y MODO DE USO DE LA GUÍA	15
CAPÍTULO 1: PRINCIPIOS Y CONCEPTOS	19
CAPÍTULO 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE PROYECTOS VIALES URBANOS	63
CAPÍTULO 3: DISEÑO GEOMÉTRICO DE CORREDORES VIALES	115
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE INTERSECCIONES	225
CAPÍTULO 5: CONTENIDO Y ESPECIFICACIONES DE LOS ENTREGABLES DEL DISEÑO	389
GLOSARIO	412
SIGLAS	425

JUSTIFICACIÓN

La problemática de la inseguridad vial, a nivel mundial, es considerada como un problema de salud pública; según la Organización Mundial de la Salud se proyecta que de no realizar una intervención preventiva en todo el mundo, el número anual de muertes por accidentes de tránsito incrementaría a 2,4 millones para el año 2030 y sería la quinta causa de muerte por encima de los decesos ocasionados por el VIH o la violencia (Organización Mundial de la Salud, 2009). No obstante, en Colombia en el año 2011, las estadísticas posicionaron a la accidentalidad vial en el segundo lugar del escalafón de las causas de muertes violentas, después de los homicidios, los cuales representan el 57% en la participación. Así lo demuestran las estadísticas registradas en el documento Forensis en el cual se señala que en el 2011 murieron en todo el país 5.792 por accidentes de tránsito, lo que representa un 20% de las 28.996 muertes violentas ocurridas. En el caso de Bogotá D.C., la estadística da cuenta de 566 muertos en accidentes de tránsito, de los 3.146 ocurridos, la ciudad ocupa también la segunda posición con una participación del 18% (con base en datos de Instituto Nacional de Medicina Legal & Centro de Referencia Nacional sobre Violencia, 2011).

El Forensis 2011, de igual manera revela que a nivel nacional, la principal víctima involucrada en accidentes fatales son los motociclistas, seguida por los peatones, con 34,13% y 29,13% de participación respectivamente. Por su parte, las estadísticas asociadas a los vehículos involucrados, declaran, una participación del 39% de motos, seguido de la bicicleta a 6% y el automóvil con 5%, datos que revelan la condición de vulnerabilidad de los motociclistas, ciclistas y peatones. Por consiguiente, esta situación promueve a estos actores a una posición primaria dentro de las consideraciones de cualquier diseño urbano y, por lo tanto, conduce a la integración de la infraestructura y espacio público para peatones y ciclistas como una variable constante y de análisis obligatorio para el diseñador geométrico.

Dentro de las circunstancias que generan los hechos, y sin desconocer las limitaciones en cuanto a las limitaciones de los registros y formularios de accidentes de tránsito en Colombia, se registró un 43,37% por desobedecer señales de tránsito, 31,69% por exceso de velocidad y 6,5% por condiciones adversas de la infraestructura vial, todos estos, desencadenantes que pueden ser mitigados con diseños integrales que involucren criterios de tránsito, diseño vial vehícular, diseño de cicloinfraestructura, y diseño de zonas peatonales, todos con estándares de seguridad que se describen en esta Guía.

Adicionalmente, el Anuario de Accidentalidad Vial en Colombia 2010 (Corporación Fondo de Prevención Vial & Universidad de los Andes, 2010) registra que ese año, las víctimas se concentraron en el área urbana, 61,0% de los muertos y 87,1% de los heridos, lo que reafirma la importancia de contar con una guía de diseño geométrico para escalas urbanas, que involucre las particularidades propias de las vías e intersecciones locales, intermedias y arteriales principales, que hacen parte de ciudades como Bogotá D.C. Aplicar solo las recomendaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras vigente conduce a inconsistencias y tratamientos incoherentes, que representan soluciones insuficientes e inseguras.

El análisis de cifras, como las anteriores y el conocimiento de las variables que envuelven las muertes en un accidente de tránsito, permiten determinar patrones sobre la problemática misma y generar políticas de prevención, estudios e investigaciones concernientes al tema que contribuyan a reducir dicho fenómeno. Es así como dichas cifras y consideraciones motivaron al Instituto de Desarrollo Urbano IDU y la Corporación Andina de Fomento CAF a contratar a la Universidad Nacional de Colombia para la elaboración de una Guía para el Diseño Geométrico de Vías para Bogotá D.C, como una alternativa técnica que provea a la ciudad de vías con las características geométricas necesarias para atender las demandas de tránsito peatonal, de ciclistas y vehicular con seguridad, comodidad y funcionalidad.

INTRODUCCIÓN

Esta Guía se considera como un sustento técnico que debe ser tenido en cuenta, en conjunto con las demás guías y normas vigentes, para la toma de decisiones relacionadas con el diseño geométrico de las zonas vehiculares, peatonales y de ciclousuarios, a nivel urbano en Bogotá D.C.

Debe tenerse presente que no se trata de un manual, sino de una Guía que ofrece lineamientos para algunos de los procesos que intervienen en el diseño geométrico de intersecciones y corredores urbanos; por lo tanto, algunos temas y precisiones se saldrán del alcance del documento y deberán ser analizados en su momento por el especialista en diseño de cada proyecto. En este sentido, conviene aclarar que esta Guía no exime de responsabilidad alguna al diseñador o consultor, respecto a temas no involucrados en el documento o respecto a aplicaciones erróneas o malinterpretaciones de las recomendaciones que aquí se presentan.

En caso que no se apliquen los lineamientos que efectivamente aparecen en la Guía, el diseñador debe justificar y soportar técnicamente las razones por las cuales considera, que con el diseño propuesto se logran mejores condiciones de seguridad vial a las que pueden ser obtenidas con la aplicación de la Guía.

MARCO NORMATIVO

Esta Guía tendrá aplicabilidad dentro del Área Urbana Integral del Distrito, definida por el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, en adelante POT, como el "suelo urbano y/o de expansión, destinado a proyectos urbanísticos que combinen zonas de vivienda, comercio y servicios, industria y dotacionales, en concordancia con el modelo de ordenamiento territorial", así como en áreas sin desarrollar o "Terrenos no urbanizados, ni edificados, localizados en suelo urbano y de expansión, comprendidos dentro de los límites del Distrito Capital". Adicionalmente será aplicable a tratamientos de consolidación, desarrollo y renovación urbana. Para tales fines se deben tener en cuenta los siguientes conceptos definidos en el Anexo número 4 del POT:

Suelo Urbano
Constituido por las áreas del territorio distrital destinadas a usos urbanos, que cuentan con infraestructura vial, redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitándose su urbanización y edificación, según sea el caso. Pertenecen a esta categoría, aquellas zonas con procesos de urbanización incompletos, comprendidas en áreas consolidadas con edificación, al igual que las áreas del suelo de expansión que sean incorporadas.

Suelo de Expansión Urbana
Constituido por la porción del territorio Distrital, que se habilitará para el uso urbano durante la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial, según lo determinen los programas de ejecución. Este territorio sólo podrá incorporarse al perímetro urbano, mediante planes parciales.

Suelo de Protección
Constituido por las zonas y áreas de terrenos localizados dentro de cualquiera de los usos de suelo urbano, de expansión urbana y rural, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de la infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.

Tratamientos
Orientan las intervenciones que se pueden realizar en el territorio, el espacio público y las edificaciones, mediante respuestas diferenciadas para cada condición existente, como resultado de la valoración de las características físicas de cada zona y su función en el modelo territorial, con los propósitos de consolidar, mantener, revitalizar, mejorar y generar espacios adecuados para el desenvolvimiento de las funciones de la ciudad.

Tratamiento de Consolidación
Tratamiento que regula la transformación de las estructuras urbanas de la ciudad desarrollada, garantizando coherencia entre la intensidad del uso del suelo y el sistema de espacio público existente o planeado.

Tratamiento de Desarrollo
Tratamiento que se aplica a los terrenos urbanizables no urbanizados, localizados en suelo urbano o de expansión, con la dotación de infraestructuras, equipamientos y la generación de espacio público.

Tratamiento de Renovación Urbana
Tratamiento que busca la transformación de zonas desarrolladas de la ciudad, que tienen condiciones de subutilización de las estructuras físicas existentes, para aprovechar al máximo su potencial de desarrollo. Estas zonas se encuentran en una de las siguientes situaciones: 1) Deterioro ambiental, físico, o social, conflicto funcional interno o con el sector inmediato; 2) Potencial estratégico de desarrollo, de conformidad con el modelo de ordenamiento adoptado por este Plan.

Así mismo deberá tenerse en cuenta que de acuerdo con los Sistemas Generales del Territorio Urbano, previstos por el POT, esta Guía tendrá aplicabilidad dentro del Subsistema Vial como promotor principal de las nuevas áreas urbanas, soporte básico de los usos y actividades existentes, así como los previstos por el POT y estructurador de las lógicas determinadas por las necesidades del Sistema de Transporte de la Ciudad.

El cumplimiento de los contenidos de la Guía de Diseño Urbano, objeto de la presente consultoría no exime del cumplimiento de otras regulaciones y normas que pudieran ser de aplicación al objeto concreto de planificación, estructuración o diseño de proyectos viales de carácter urbano, específicamente para la ciudad de Bogotá, Distrito Capital de la República de Colombia. El planificador o diseñador deberá buscar soluciones de diseño que cumplan con el conjunto de normas en vigor, y con los criterios establecidos por la Guía, que se desarrolla como resultado del Contrato de Prestación de Servicios celebrado entre la Corporación Andina de Fomento, en adelante mencionada como "CAF" y la Universidad Nacional de Colombia. Finalmente, los criterios y conceptos que se desarrollen en la Guía se plantean como un soporte a las actividades y juicios que realice el profesional idóneo en el tema, así, la Guía no suple ni la labor ni la responsabilidad del profesional que haga uso de esta para el desarrollo de sus actividades profesionales.

En particular, se consideran normativas complementarias a la Guía de Diseño de Vías Urbanas en Bogotá D.C., las siguientes:

- Decreto 323 de 1992. Por el cual se reglamentan las zonas viales de uso público en lo referente a las áreas para el sistema vial general y para el transporte masivo, la red vial local de las urbanizaciones y el equipamiento vial.
- Ley 361 de 1997. Por el cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1504 de 1998. Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial.
- Decretos 1003 de 2000, 379 de 2002 y 602 de 2007, por los cuales se reglamenta la Cartilla de Andenes.
- Ley 769 de 2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre.
- Decreto 279 de 2003. Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital.
- Decreto 1660 de 2003. Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad.
- Decreto 327 de 2004. Por el cual se reglamenta el Tratamiento de Desarrollo Urbanístico en el Distrito Capital.
- Resolución 1050 de 2004. Por la cual se adopta el Manual de Señalización Vial - Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia, de conformidad con los artículos 5°, 113, 115 y el parágrafo del artículo 101 de la Ley 769 del 6 de agosto de 2002.
- Decreto 215 de 2005. Por el cual se adopta el Plan Maestro de Espacio Público para Bogotá Distrito Capital, y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1538 de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 361 de 1997.
- Decreto 319 de 2006. Por el cual se adopta el Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital, que incluye el ordenamiento de estacionamientos, y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 470 de 2007. Por el cual se adopta la Política de Discapacidad para el Distrito Capital.
- Decreto 603 de 2007. Por el cual se actualiza la "Cartilla de Mobiliario Urbano de Bogotá D.C.", adoptada mediante Decreto Distrital 170 de 1999, y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 596 de 2007. Por el cual se señalan las reglas para la exigencia, realización y presentación de estudios de movilidad, de desarrollos urbanísticos y arquitectónicos en el Distrito Capital.
- Decreto 470 de 2007. Por el cual se adopta la política de discapacidad para el distrito capital. NTC 4279, 4695, 4774, 4902, 4904: Accesibilidad al medio físico.
- Ley 1239 de 2008. Por medio de la cual se modifican los artículos 106 y 107 de la Ley 769 del 2 de agosto de 2002 y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 000744 de 2009. Por la cual se actualiza el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia.
- Resolución 4374 de 2010: Por la cual se adopta el Manual de Gestión Integral de Proyectos de infraestructura vial y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 798 de 2010. Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 1083 de 2006.
- Decreto 397 de 2010. Por el cual se adopta el Plan Distrital de Seguridad Vial para Bogotá, Distrito Capital.
- NTC 4279, 4695, 4774, 4902, 4904. Accesibilidad al medio físico.

PRESENTACIÓN Y MODO DE USO DE LA GUÍA

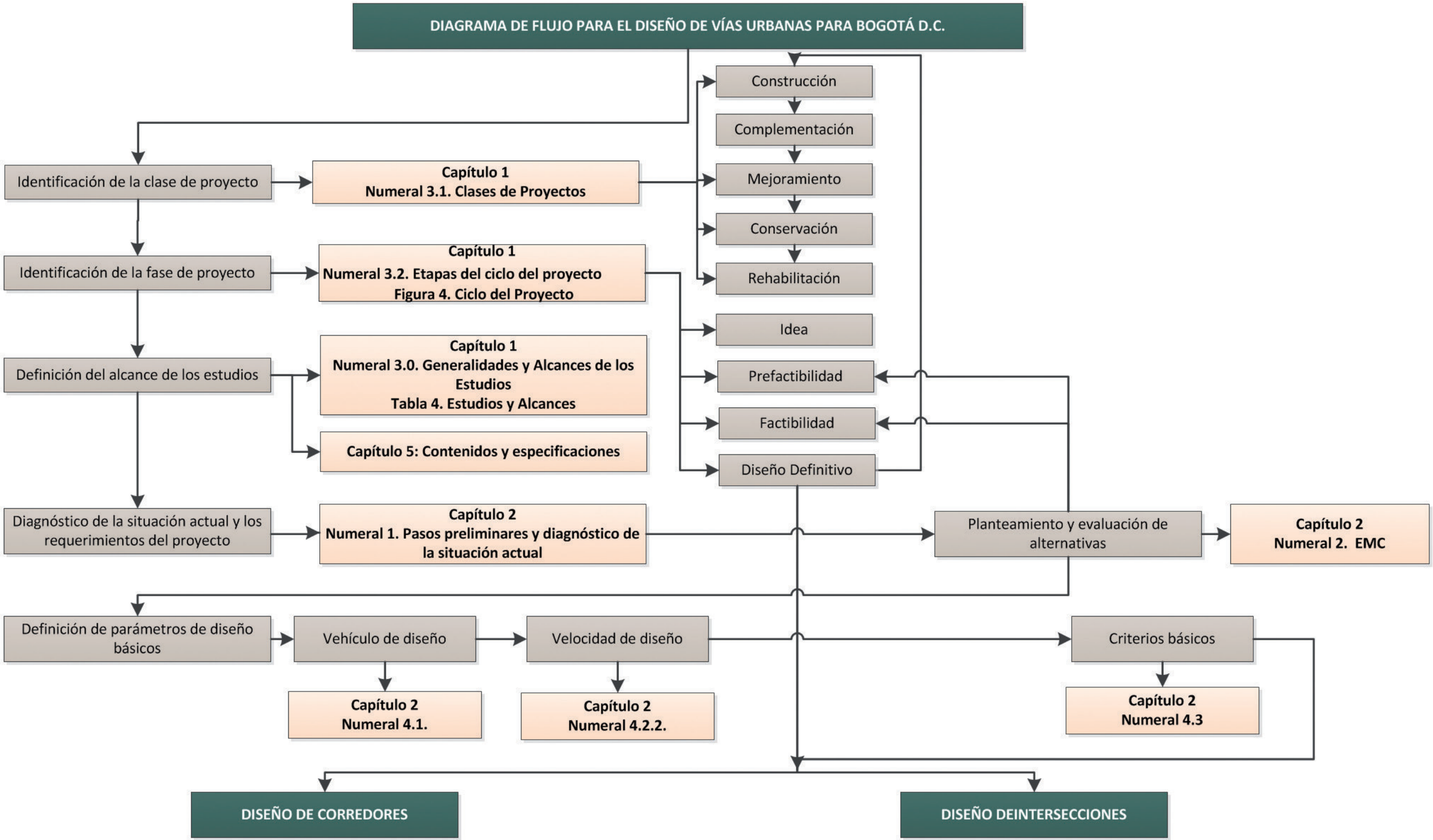
Esta Guía se organiza secuencialmente, en función del proceso de diseño y el tipo de proyecto a diseñar (corredor vial y/ o intersección a nivel o intersección a desnivel). Los temas se presentan en capítulos y subcapítulos independientes integrados mediante un mapa de ruta o diagrama de flujo que organiza y resume el proceso de diseño. Cada ítem del diagrama está referido a un numeral específico del documento técnico.

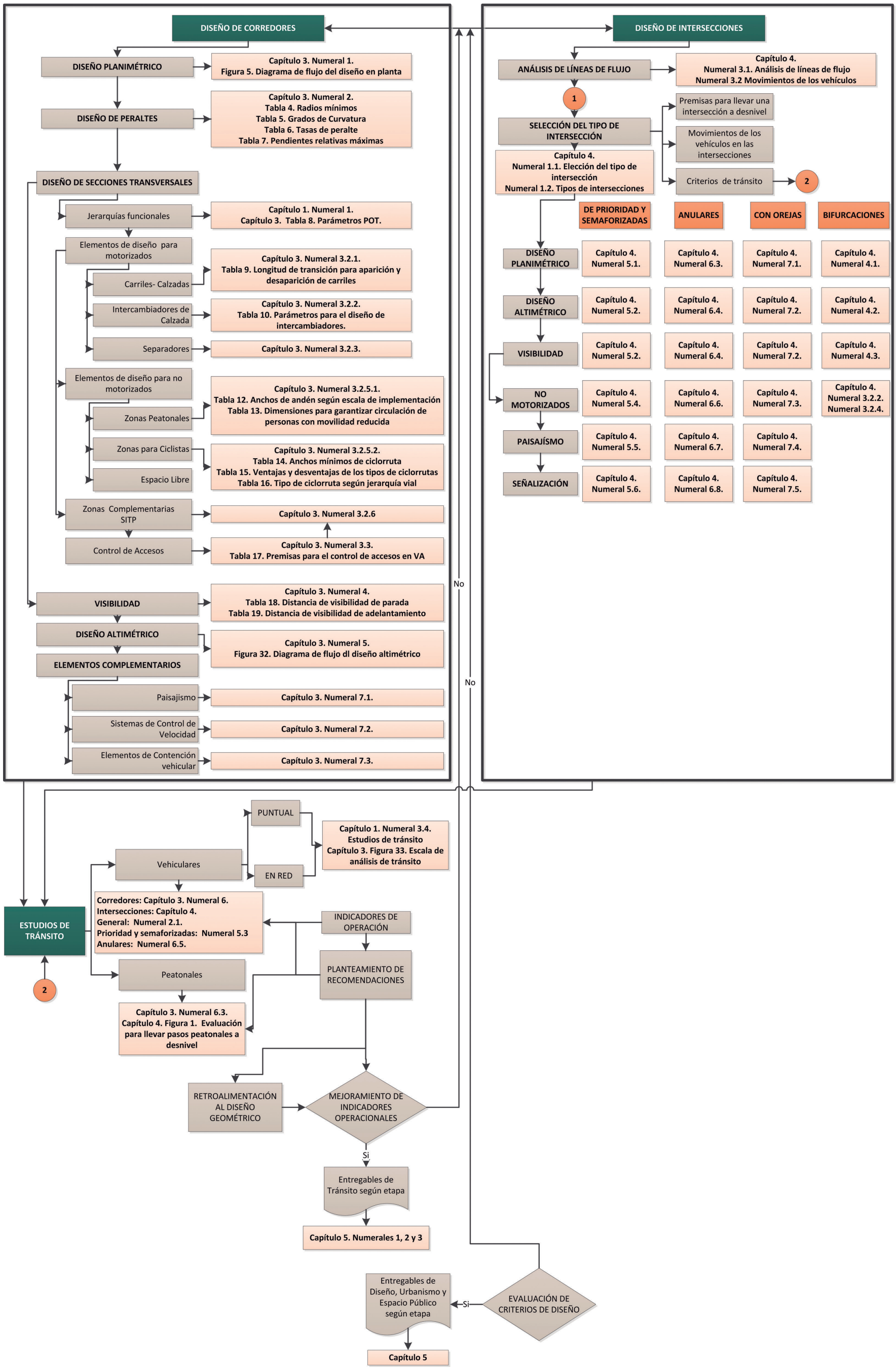
Puede, por tanto, utilizarse de variadas maneras, entre ellas, dirigiéndose directamente al numeral que contiene el problema concreto de diseño que se pretende resolver y que se visualiza desde el diagrama de flujo, o siguiendo el proceso completo desde el inicio hasta el final del diagrama.

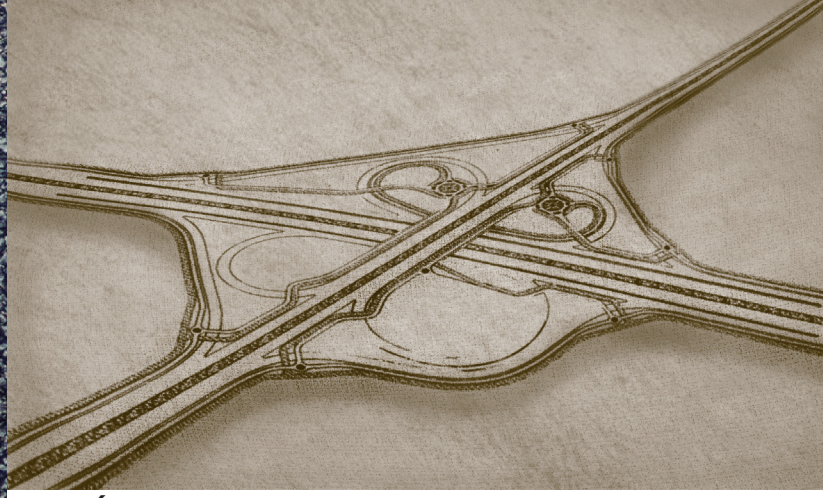
Básicamente la Guía se enfocará en los siguientes subcapítulos:

1. Principios y conceptos.
2. Criterios básicos para el diseño de proyectos viales urbanos.
3. Diseño definitivo de corredores viales.
4. Diseño definitivo de Intersecciones.
   4.1. Diseño de intersecciones a nivel.
   4.2. Diseño de intersecciones anulares.
   4.3. Diseño de intersecciones a desnivel.
   4.4. Casos especiales de intersecciones.
5. Contenido y especificaciones de los entregables del diseño.

Es importante aclarar que los temas de seguridad vial, tránsito, espacio público, ciclo infraestructura y manejo peatonal aparecen integrados en el desarrollo de la Guía.


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE VÍAS URBANAS PARA BOGOTÁ D.C.
Construcción
Complementación
Mejoramiento
Conservación
Rehabilitación
Idea
Prefactibilidad
Factibilidad
Diseño Definitivo
Identificación de la clase de proyecto
Capítulo 1
Numeral 3.1. Clases de Proyectos
Identificación de la fase de proyecto
Capítulo 1
Numeral 3.2. Etapas del ciclo del proyecto
Figura 4. Ciclo del Proyecto
Definición del alcance de los estudios
Capítulo 1
Numeral 3.0. Generalidades y Alcances de los Estudios
Tabla 4. Estudios y Alcances
Capítulo 5: Contenidos y especificaciones
Diagnóstico de la situación actual y los requerimientos del proyecto
Capítulo 2
Numeral 1. Pasos preliminares y diagnóstico de la situación actual
Planteamiento y evaluación de alternativas
Capítulo 2
Numeral 2. EMC
Definición de parámetros de diseño básicos
Vehículo de diseño
Capítulo 2
Numeral 4.1.
Velocidad de diseño
Capítulo 2
Numeral 4.2.2.
Criterios básicos
Capítulo 2
Numeral 4.3
DISEÑO DE CORREDORES
DISEÑO DEINTERSECCIONES


DISEÑO DE CORREDORES
DISEÑO PLANIMÉTRICO
Capítulo 3. Numeral 1.
Figura 5. Diagrama de flujo del diseño en planta
DISEÑO DE PERALTES
Capítulo 3. Numeral 2.
Tabla 4. Radios mínimos
Tabla 5. Grados de Curvatura
Tabla 6. Tasas de peralte
Tabla 7. Pendientes relativas máximas
DISEÑO DE SECCIONES TRANSVERSALES
Jerarquías funcionales
Capítulo 1. Numeral 1.
Capítulo 3. Tabla 8. Parámetros POT.
Elementos de diseño para motorizados
Carriles- Calzadas
Capítulo 3. Numeral 3.2.1.
Tabla 9. Longitud de transición para aparición y desaparición de carriles
Intercambiadores de Calzada
Capítulo 3. Numeral 3.2.2.
Tabla 10. Parámetros para el diseño de intercambiadores.
Separadores
Capítulo 3. Numeral 3.2.3.
Elementos de diseño para no motorizados
Capítulo 3. Numeral 3.2.5.1.
Tabla 12. Anchos de andén según escala de implementación
Tabla 13. Dimensiones para garantizar circulación de personas con movilidad reducida
Zonas Peatonales
Zonas para Ciclistas
Capítulo 3. Numeral 3.2.5.2.
Tabla 14. Anchos mínimos de ciclorruta
Tabla 15. Ventajas y desventajas de los tipos de ciclorrutas
Tabla 16. Tipo de ciclorruta según jerarquía vial
Espacio Libre
Zonas Complementarias SITP
Capítulo 3. Numeral 3.2.6
Control de Accesos
Capítulo 3. Numeral 3.3.
Tabla 17. Premisas para el control de accesos en VA
VISIBILIDAD
Capítulo 3. Numeral 4.
Tabla 18. Distancia de visibilidad de parada
Tabla 19. Distancia de visibilidad de adelantamiento
DISEÑO ALTIMÉTRICO
Capítulo 3. Numeral 5.
Figura 32. Diagrama de flujo dl diseño altimétrico
ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS
Paisajismo
Capítulo 3. Numeral 7.1.
Sistemas de Control de Velocidad
Capítulo 3. Numeral 7.2.
Elementos de Contención vehicular
Capítulo 3. Numeral 7.3.
No
DISEÑO DE INTERSECCIONES
ANÁLISIS DE LÍNEAS DE FLUJO
Capítulo 4.
Numeral 3.1. Análisis de líneas de flujo
Numeral 3.2 Movimientos de los vehículos
1
SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERSECCIÓN
Premisas para llevar una intersección a desnivel
Movimientos de los vehículos en las intersecciones
Criterios de tránsito
2
Capítulo 4.
Numeral 1.1. Elección del tipo de intersección
Numeral 1.2. Tipos de intersecciones
DE PRIORIDAD Y SEMAFORIZADAS
ANULARES
CON OREJAS
BIFURCACIONES
DISEÑO PLANIMÉTRICO
Capítulo 4. Numeral 5.1.
Capítulo 4. Numeral 6.3.
Capítulo 4. Numeral 7.1.
Capítulo 4. Numeral 4.1.
DISEÑO ALTIMÉTRICO
Capítulo 4. Numeral 5.2.
Capítulo 4. Numeral 6.4.
Capítulo 4. Numeral 7.2.
Capítulo 4. Numeral 4.2.
VISIBILIDAD
Capítulo 4. Numeral 5.2.
Capítulo 4. Numeral 6.4.
Capítulo 4. Numeral 7.2.
Capítulo 4. Numeral 4.3.
NO MOTORIZADOS
Capítulo 4. Numeral 5.4.
Capítulo 4. Numeral 6.6.
Capítulo 4. Numeral 7.3.
Capítulo 4. Numeral 3.2.2. Numeral 3.2.4.
PAISAJÍSMO
Capítulo 4. Numeral 5.5.
Capítulo 4. Numeral 6.7.
Capítulo 4. Numeral 7.4.
SEÑALIZACIÓN
Capítulo 4. Numeral 5.6.
Capítulo 4. Numeral 6.8.
Capítulo 4. Numeral 7.5.
No
ESTUDIOS DE TRÁNSITO
2
Vehiculares
PUNTUAL
EN RED
Capítulo 1. Numeral 3.4.
Estudios de tránsito
Capítulo 3. Figura 33. Escala de análisis de tránsito
Corredores: Capítulo 3. Numeral 6.
Intersecciones: Capítulo 4.
General: Numeral 2.1.
Prioridad y semaforizadas: Numeral 5.3
Anulares: Numeral 6.5.
INDICADORES DE OPERACIÓN
Peatonales
PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES
Capítulo 3. Numeral 6.3.
Capítulo 4. Figura 1. Evaluación para llevar pasos peatonales a desnivel
RETROALIMENTACIÓN AL DISEÑO GEOMÉTRICO
MEJORAMIENTO DE INDICADORES OPERACIONALES
Si
Entregables de Tránsito según etapa
Capítulo 5. Numerales 1, 2 y 3
Entregables de Diseño, Urbanismo y Espacio Público según etapa
Si
EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO
Capítulo 5



CAPÍTULO 1

PRINCIPIOS Y CONCEPTOS

CAPÍTULO 1: PRINCIPIOS Y CONCEPTOS **19**

1. LA INFRAESTRUCTURA: REDES VIALES Y CORREDORES **22**

1.1 CONCEPTOS DE RED VIAL URBANA 22

1.2 ARTICULACIÓN DE LA RED VIAL Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL 24

1.3 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS VÍAS 28

1.3.1 Propuesta Complementaria 31

1.4 JERARQUIZACIÓN VIAL 32

2. LOS USUARIOS **35**

2.1 PEATÓN 35

2.2 CICLISTA 37

2.3 CONDUCTOR 37

2.4 PASAJERO 38

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA 38

2.5.1 Demanda vehicular 39

2.5.2 Distribución direccional 40

2.5.3 Composición del tránsito 40

2.5.4 Horizontes de evaluación 40

3. CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS: GENERALIDADES Y ALCANCES DE LOS ESTUDIOS **41**

3.1 CLASES DE PROYECTOS 41

3.2 ETAPAS DEL CICLO DEL PROYECTO 43

3.3 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS 48

3.4 ESTUDIOS DE TRÁNSITO 49

3.5 ESTUDIOS DE TRANSPORTE 52

3.6 URBANISMO, PAISAJISMO Y MOBILIARIO URBANO 54

3.7 ESTUDIOS DE SEGURIDAD VIAL 55

3.8 ESTUDIOS AMBIENTALES Y SOCIALES 56

3.9 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y GEOLÓGICOS 57

3.10 ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDRÁULICOS 57

3.11 ESTUDIOS ESTRUCTURALES 58

3.12 ESTUDIOS DE PAVIMENTOS 58

3.13 SERVICIOS PÚBLICOS 58

3.14 ESTUDIOS PREDIALES 59

3.15 ESTUDIOS GEOMÉTRICOS 59

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **61**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ilustración esquemática de un tipo de red vial urbana	23
Figura 2.	Relación entre la vocación de movilidad y la de acceso local en los sistemas de clasificación funcional	23
Figura 3.	Relación entre las estructuras funcionales del territorio	26
Figura 4.	Ciclo del proyecto	44
Figura 5.	Complejidad del análisis de tránsito entre etapas del proyecto	50
Figura 6.	Integralidad entre alcances	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Impactos de las vías y tratamientos recomendados para diferentes áreas urbanas	28
Tabla 2.	Jerarquización Vial: Características y Restricciones	33
Tabla 3.	Velocidad de caminata	36
Tabla 4.	Estudios requeridos y alcances por faces en un proyecto de infraestructura vial urbana	47
Tabla 5.	Análisis del tránsito en el ciclo del proyecto	52

CONVENCIONES



Definición



Recomendación

Este capítulo se centra en la definición de las bases conceptuales para el desarrollo y puesta en práctica de las recomendaciones y lineamientos dados por la Guía. Es así como, en primera instancia, se describirán algunos conceptos asociados principalmente con la oferta de infraestructura vial desde tres escenarios diferentes: uno lineal, referido a los corredores, otro espacial que involucra las intersecciones y, finalmente, uno puntual relacionado con elementos específicos de la red. Posteriormente se detallarán nociones relativas a la demanda de los usuarios de la infraestructura vial.

1. LA INFRAESTRUCTURA: REDES VIALES Y CORREDORES

En el sentido etimológico, el concepto de vía procede del latín, y en concreto puede significar "camino". El concepto de vía tiene diversos usos vinculados al lugar por el que se transita, se circula o se desplaza. Puede tratarse entonces, del espacio que posibilita que la gente y los vehículos circulen y accedan a los predios adyacentes. Además las vías generan soporté para las redes de servicios e información con las que usualmente comparten espacio en zonas definidas para tal fin.

Un conjunto de vías funcionalmente organizado, a través de un plan vial, en el que se definan, jerarquías, vocaciones de circulación, secciones transversales, requerimientos y condicionantes para la operación, conforman una red vial. Para efectos de la presente Guía el término corredor vial, hará alusión al concepto de vía urbana.

1.1 CONCEPTOS DE RED VIAL URBANA

Preliminarmente es indispensable definir el significado de vía urbana, que para efecto de la presente Guía atiende a:

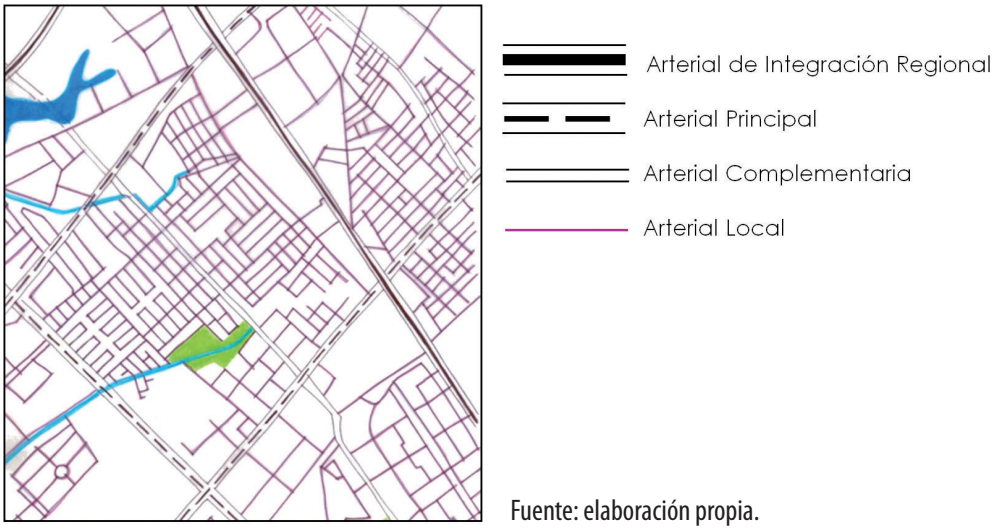
D

VÍA URBANA

- **Aquellas que atraviesan o demarcan áreas urbanas consolidadas o previstas por el ordenamiento territorial, en suelo urbano o suelo urbano de expansión respectivamente.**
- **Corredores que circunscriban zonas urbanas (vías circunvalares).**
- **Aquellas utilizadas parcial o totalmente por tráfico urbano.**
- **Aquellas que sirven a las necesidades de movilidad, conectividad, permeabilidad y accesibilidad de la estructura y los usos urbanos.**

Las redes viales surgen de la conjugación de múltiples líneas de deseo de viaje que conectan orígenes con destinos. Tales líneas están asociadas a diferentes niveles de demanda y a zonas atractoras y generadoras de viajes. Así las redes están configuradas básicamente en función de dos aspectos; por una parte, del modelo de movilidad y la oferta requerida para suplir los viajes de corta, media y larga distancia, y por otra, del modelo de ciudad y el ordenamiento de la estructura territorial, coligada a la distribución de los usos del suelo y las actividades económicas.

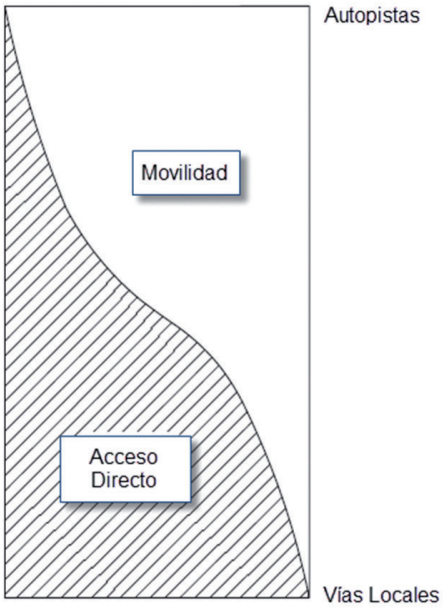
Figura 1. Ilustración esquemática de un tipo de red vial urbana



Fuente: elaboración propia.

Es así como, en temas asociados a la configuración de la red vial, existen dos consideraciones esenciales a tener en cuenta: la movilidad y la accesibilidad. Teóricamente deberían existir vías que aporten de manera exclusiva a la movilidad, con un control de accesos total, que permitan viajes de larga distancia y a altas velocidades, y otras locales, de tráfico calmado, que posibiliten el acceso directo a las viviendas pero que no generan aporte alguno a la fluidez de la red vial. Complementariamente, en el nivel intermedio existirán algunas que cumpliendo parcialmente ambas funciones, otorguen permeabilidad y conectividad a la red. Véase Figura 2.

Figura 2 Relación entre la vocación de movilidad y la de acceso local en los sistemas de clasificación funcional



Fuente: (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011)

No obstante, es claro que la vocación de las vías no atiende simplemente a la generación de viajes, la estimación de demandas y a la determinación de perfiles o jerarquías viales requeridas, sino que por lo contrario, la influencia del desarrollo territorial, termina agrupando a la mayoría de las vías en la zona central de la Figura 2; con vías que cumplen funciones simultáneas de circulación, conectividad y acceso. Estas situaciones derivadas de la dinámica territorial incluyen variables adicionales que para proyectos viales nuevos deben ser tenidas en cuenta con antelación; para tener por ejemplo un control efectivo de accesos o distribuciones de usos del suelo acordes con los modelos de movilidad y de ciudad. Para el caso de la infraestructura existente, que por los desequilibrios en la configuración de la red, entre otros aspectos, puede incurrir en problemas de capacidad y seguridad, se requiere introducir nuevos conceptos, de cara a la mitigación de las falencias. Cobran importancia entonces, infraestructuras como distribuidores de tráfico, en adelante denominadas intersecciones a desnivel, puntos de intercambio modal, autopistas urbanas complementadas con paralelas de acceso local, entre otros temas que se tratarán más adelante.

1.2 ARTICULACIÓN DE LA RED VIAL Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El Plan de Ordenamiento Territorial vigente en Bogotá propuso una estrategia de ordenamiento territorial basada en la superposición de tres estructuras básicas: la protección del medio ambiente y los recursos naturales a través de una Estructura Ecológica Principal (EEP); el perfeccionamiento y racionalización de la infraestructura para la movilidad y la prestación de los servicios públicos y sociales mediante una Estructura Funcional y de Servicios (EFS) y, la integración socio económica y espacial de su territorio urbano, rural, regional y nacional con una Estructura Socio Económica y Espacial (ESE).

Es evidente la vulnerabilidad de la Estructura Ecológica Principal (EEP) cuando se plantean y desarrollan proyectos de movilidad; por ello, se recomienda la articulación con las otras estructuras del ordenamiento garantizando así la sostenibilidad a futuro con miras a lograr la integración con el mínimo de afectaciones nocivas al medio ambiente.

El desarrollo de la infraestructura vial de transporte en zonas urbanas consolidadas afectará la Estructura Socio Económica y Espacial (ESE) principalmente; caso contrario ocurre cuando el desarrollo se proyecta en suelo no urbanizado o en proceso de urbanización dado que la mayor afectación recae sobre la Estructura Ecológica Principal (EEP). Para el análisis del desarrollo del sistema vial, se organizan dos grandes grupos, los cuales se abordarán en capítulos posteriores con ejemplos explicativos y que por ahora apenas se nombran:

- Las zonas urbanas consolidadas.
- Las zonas en proceso de urbanización.

De manera específica, la Estructura Funcional y de Servicios (EFS) se concibe como una estructura cuya finalidad es garantizar que el centro y las centralidades que conforman la estructura

socio-económica y espacial (y las áreas residenciales) cumplan adecuadamente sus funciones. Para ello, el mismo POT determinó que los llamados "sistemas generales" constituyen los componentes de esta EFS; sistemas que están precisados en el artículo 18 de la siguiente manera:

1. Sistema de movilidad.
2. Sistemas de equipamientos urbanos.
3. Sistema de espacio público construido: parques y espacios peatonales.
4. Sistemas generales de servicios públicos: Acueducto, saneamiento básico, energía eléctrica, telecomunicaciones y gas natural.

Véase Figura 3. Relación entre las estructuras funcionales del territorio.



Lo ideal es que todo proyecto de infraestructura vial urbana responda no solo a un modelo de movilidad, sino a un modelo de ciudad, que se organice a partir de los sistemas estructurantes del territorio y busque armonización con la Estructura Ecológica Principal y la Estructura Socioeconómico y Espacial.

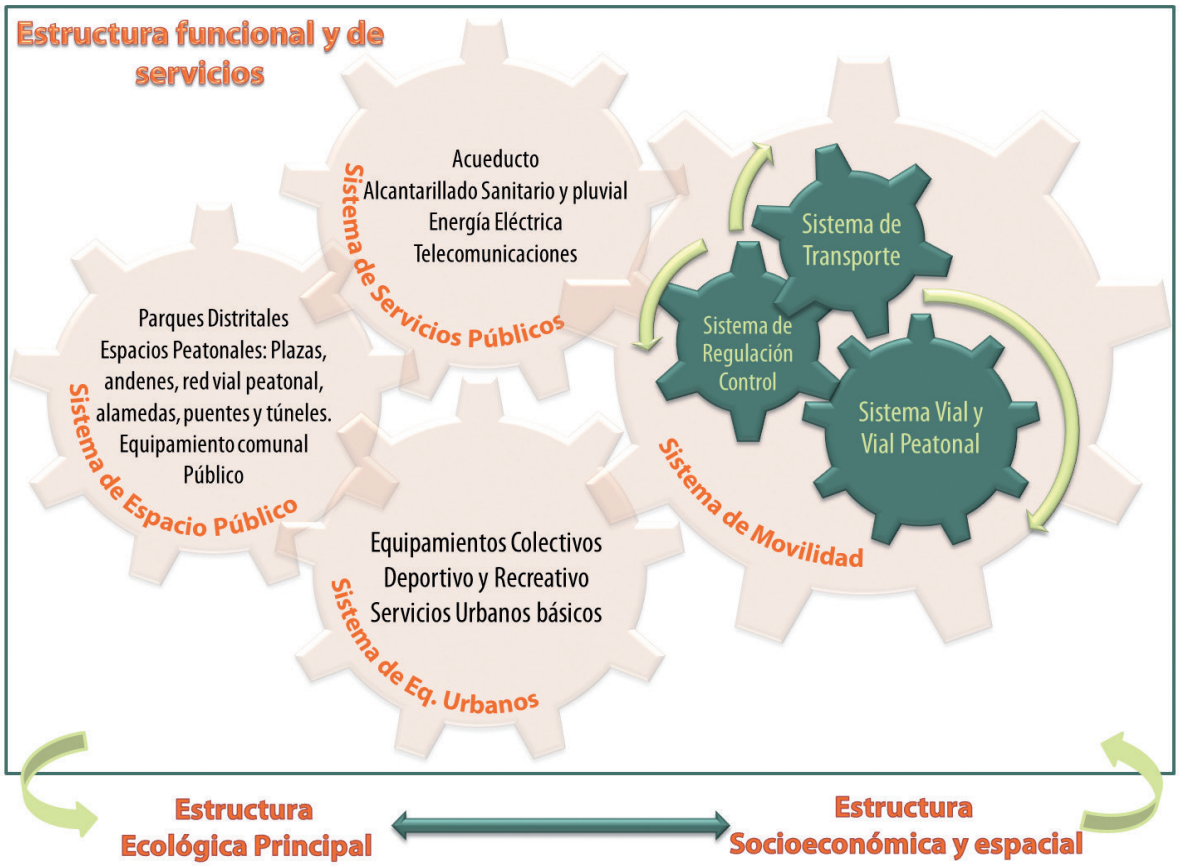
Cabe mencionar que el sistema de movilidad está compuesto por los subsistemas: vial, de transporte y de regulación y control del tráfico y vial peatonal (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004). Es así como el diseño de la infraestructura vial no se debe concentrar exclusivamente en las cuestiones asociadas a la calzada vehicular, sino que se requiere de un diseño integral que vincule a la red vial, la infraestructura propia del subsistema de transporte, como lo son las redes de transporte masivo, colectivo y de alimentación, las facilidades para el transporte público individual, los terminales y estaciones, los diferentes tipos de paraderos de buses, etc. Además, debe integrarse la infraestructura del subsistema de regulación y control, entendida como señalización, red de semaforización y sistemas tecnológicos de vigilancia y control del tráfico. Por último, es indispensable incluir la infraestructura del subsistema vial peatonal compuesto por los andenes, plazas, parques, cruces peatonales (senderos, cebras, puentes, túneles), alamedas, plazoletas y otros.

De esta manera, el capítulo de principios y conceptos busca ofrecer al diseñador geométrico un marco de actuación que se debe considerar, pues delimita y aporta condicionantes y requerimientos específicos para cada proyecto. No obstante, es claro que la Guía se enfocará en los temas del subsistema vial y vial peatonal, sin profundizar en aspectos del subsistema de transporte como los conceptos de paraderos, troncales de transporte masivo y paraderos en vía. Del subsistema de regulación y control se tratarán los temas de semaforización que impactan en el diseño geométrico y se darán recomendaciones para la señalización en general que no estén incorporadas en el Manual del Ministerio de Transporte (2004)[1]. De otro lado, se resaltarán temas

1 Deberá tenerse en cuenta el manual de señalización vigente. A la fecha de formulación de esta Guía el Ministerio de Transporte se encontraba trabajando en la revisión y actualización de dicho documento normativo.

del sistema de espacio público que deben integrarse al diseño geométrico desde las primeras etapas, así como condicionantes de la estructura ecológica principal que determinen requerimientos ambientales para el desarrollo de los proyectos de diseño geométrico.

Figura 3. Relación entre las estructuras funcionales del territorio



Fuente: Elaboración propia, con base en (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004)

Abordando otra dimensión territorial, conviene tener presente la importancia de los usos del suelo y las teorías modernas que buscan una integración entre el desarrollo de la infraestructura vial y de transporte y la estructuración y jerarquización del espacio urbano. Tal integración consiste en la unión de dos funciones básicas urbanas con el objeto de que se complementen y potencien una a la otra. Se trata, por un lado, del desarrollo de una eficiente infraestructura de movilidad y, por otro, de la reconfiguración de la estructura funcional de la ciudad mediante la creación de importantes nodos de actividad, y en general de una eficiente gestión del suelo, potenciando así las características de movilidad que debe tener el espacio urbano contemporáneo (ABONCE MEZA).

ES IMPORTANTE QUE EL DISEÑADOR TENGA EN CUENTA QUE:

- **En zonas urbanas consolidadas, las vías urbanas nuevas producen efectos físicos y económicos sobre la estructura urbana existente, modificando el sistema de accesibilidad y estimulando cambios en los usos urbanos.**
- **Sobre el suelo no urbanizado, las vías deben contemplar los conceptos de movilidad y accesibilidad en función del instrumento urbanístico que se empleé. Se debe tener en cuenta que en cualquier caso repercutirán directamente en el uso final del suelo. El desarrollo vial en zonas no urbanizadas debe incorporar procedimientos de gestión del suelo de acuerdo con la normatividad vigente.**

Por lo anterior, es importante que el diseñador geométrico reconozca, evalué y analice los condicionantes que ofrecen los usos del suelo actuales en el sitio del proyecto y el impacto que la infraestructura vial podría generar sobre los mismos. Este es un tema que cobra importancia especialmente en sectores consolidados en donde, por ejemplo, a pesar de las limitaciones de circulación de tránsito pesado por vías locales, se presentan actividades económicas de tipo dotacional que podrían implicar ajustes a los criterios de diseño para la sección transversal, derivados de la selección de un vehículo de diseño más exigente.

Así, el POT de Bogotá estable que para usos de suelo urbano y de expansión, existen siete Áreas de Actividad, mediante las cuales se establece la destinación de cada zona en función de la estructura urbana propuesta por el modelo territorial:

1. Área de Actividad Residencial: Zonas de uso residencial exclusivo o residencial con comercio restringido.
2. Área de Actividad Dotacional: Zonas con equipamientos colectivos, deportivos, recreativos, parques y que ofrecen servicios urbanos básicos (seguridad, defensa, justicia, cementerios, administración pública, servicios públicos y transporte).
3. Área de Actividad de Comercio y Servicios: Incluye zonas de servicios empresariales, industriales, automotrices, comercio mayorista de industria y construcción a gran escala, entre otros.
4. Área de Actividad Central: Corresponde a los centros tradicionales y fundacionales.
5. Área Urbana Integral: Incluye actividades residenciales, múltiples y de industria y comercio.
6. Área de Actividad Industrial.
7. Área de Actividad Minera.

Estos tipos de actividad condicionarán entonces ciertos criterios del diseño geométrico y servirán de referencia para algunas decisiones que el diseñador deba tomar, principalmente en temas de la escogencia del vehículo de diseño, soportado por los estudios de tránsito, que deben especificar la composición vehicular. Igualmente, este análisis aportará al manejo de la conectividad y la accesibilidad.

Además del uso y la actividad, la morfología urbana se convierte en un condicionante para el diseño geométrico. El siguiente cuadro resume algunas estructuras urbanas, sus características y los impactos generados por la nueva infraestructura vial en cada una.

Tabla 1. Impactos de las vías y tratamientos recomendados para diferentes áreas urbanas

ACTIVIDAD	CARACTERÍSTICAS	IMPACTOS DE VÍAS NUEVAS	TRATAMIENTOS RECOMENDADOS
Áreas de actividad central	Centros antiguos y áreas tradicionales de la ciudad. Principalmente con arterias complementarias y vías locales.	Efecto barrera. Adquisición predial. Impacto socio económico y urbanístico.	Prevalencia al peatón y al ciclista. Tratamientos de tráfico calmado. Análisis ambientales y urbanísticos detallados.
Áreas de actividad residencial de alta densidad y de actividad urbana integral	Grandes barrios generalmente de edificaciones altas, cercanos a vías de la red arterial principal.	Efecto barrera. Impacto ambiental Conectividad. Accesibilidad.	Manejo peatonal seguro. Incorporación de paralelas a las AU (Autopistas Urbanas) y VR (Vías Rápidas Urbanas) para garantizar accesibilidad. Generación de enlaces hacia vías colectores. Aplicación de instrumentos de gestión del suelo.
Áreas de actividad industrial nuevas	Es común localizar las áreas industriales cerca de las vías arterias; no obstante, los accesos no siempre corresponden a las necesidades de circulación cómoda y segura.	Impacto directo sobre la movilidad. Conflictos entre el tráfico de paso con el tráfico local. Mayor exigencia en el diseño de las vías locales.	Construcción de vías de servicio. Escogencia del vehículo de diseño de acuerdo con los vehículos que hacen uso de la zona industrial.
Áreas de comercio y servicios	Grandes zonas y equipamientos de comercio.	Impacto directo sobre la movilidad. Conflictos entre el tráfico de paso con el tráfico local.	Construcción de vías de servicio. Escogencia del vehículo de diseño de acuerdo con los vehículos que hacen uso de la zona comercial. Generar accesos por vías de menor jerarquía.

Fuente: Elaboración propia, con base en (MOPT, 1992)

1.3 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS VÍAS

La clasificación funcional de las vías atiende a una agrupación según las características del servicio que ofrecen en el marco de una red vial, es decir, si su configuración aporta a la movilidad, a la conectividad y/o a la accesibilidad local. Este tipo de clasificación se ha constituido como una importante herramienta en términos de planificación territorial y de formulación de planes viales y de movilidad, especialmente porque el concepto de funcionalidad de la vía permite generar vínculos respecto a otras variables tales como: las actividades predominantes, los niveles de tráfico, las restricciones de circulación por tipo de vehículo y velocidad, entre otros factores.

Entonces, la clasificación funcional de las vías se define como un proceso de la planificación territorial, cuya función principal es señalar la vocación de las vías existentes y proyectadas para determinar principalmente los tipos de movimientos de personas y bienes que se permiten sobre las vías, por ejemplo, tráfico de paso interurbano, de conectante de centros urbanos y suburbanos distantes, de transporte público, de acceso local, etc., (CAL Y MAYOR, DUARTE GUTERMAN, & ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C., 2006).

La clasificación funcional de las vías está basada en 6 estados presentes en la mayoría de los viajes (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011): Movimiento principal, transición, distribución, recolección y terminación. El movimiento principal, se asocia a un tránsito ininterrumpido de alta velocidad y larga distancia, para posteriormente pasar a una zona que permite transicionar velocidades (generalmente intersecciones o rampas de salida), y conectarse así a otro tipo de enlaces cuya función es de distribución; en este caso con viajes de media distancia y a velocidades moderadas, permitiendo conexión con escalas zonales. Posteriormente se ingresa en las áreas de recolección que facilitan el acceso a los barrios y, por último se realiza la conexión a las vías locales que proveen el acceso directo a las viviendas o punto final del viaje.

De acuerdo con estos conceptos generales, para Bogotá, el Plan de Ordenamiento Territorial (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004), estableció que el subsistema vial urbano está conformado por los siguientes componentes:

1. **Malla Vial Arterial:** Es el conjunto de vías de mayor jerarquía que consolida la estructura del área urbana, de expansión y rural. Está compuesta por las mallas de integración regional, principal y complementaria y sus intersecciones. La función principal de estos corredores es la movilidad de altos volúmenes de tráfico.

a. **Malla Vial Arterial de Integración Regional:** Es la red de vías que conecta directamente el sistema vial urbano con el sistema vial regional y con los ejes de la Estrategia Espacial Urbana propuesta por el POT 2012 (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ & SECRETARÍA DE PLANEACIÓN, 2012). Este sistema lo constituyen los corredores con volúmenes de carga y pasajeros más altos y los recorridos de viaje más extensos. Además, este nivel funcional da continuidad a las vías rurales, regionales y nacionales que interceptan el límite urbano, y que idealmente, deberían estar configurados de manera tal que eviten el paso por el centro de la ciudad y que simplemente se encarguen de conectar con las vías de la red Arterial Principal (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011). Dentro de la ciudad, este tipo de vías deberían presentar control total de accesos y manejo de intersecciones a desnivel en todos los casos.

b. **Malla Vial Arterial Principal:** "*Es la red de vías que actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional. Esta malla soporta el subsistema de transporte en su componente de transporte masivo*" *(ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ & SECRETARÍA DE PLANEACIÓN, 2012).* Este sistema sirve a los principales centros de actividad de las áreas urbanas; se constituyen como corredores con volúmenes de tránsito altos y los recorridos de viaje de larga distancia, dentro de la escala urbana. Al igual que en el caso anterior, este tipo de vías deberían estar configurados de manera tal que eviten el paso por el centro de la ciudad y que simplemente se encarguen de conectar con las vías de menor jerarquía que se integran a las zonas con los niveles más altos de atracción de viajes, tales como centros de negocios y grandes centros residenciales (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011). En teoría, este tipo de vías deberían presentar control total de accesos y manejo de intersecciones a desnivel; además deben considerar la integración con flujos peatonales y de ciclousua-

rios, de la manera más segura y eficiente posible, con segregación de niveles, especialmente, debido a que esta red soporta el subsistema de transporte en su componente de transporte masivo, según lo menciona el documento técnico de soporte del proyecto POT 2013 (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ & SECRETARÍA DE PLANEACIÓN, 2012)

c. **Malla Vial Arterial Complementaria:** "*Es la red de vías que articula operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana*" (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004). Este sistema cuenta con una vocación de movilidad relativamente menor que las arterias principales y sirve zonas de atracción y generación de viajes con demandas menores a las del caso anterior. Aunque este tipo de sistema no ingresa a los barrios, permiten en mayor medida la conectividad al presentar controles de acceso parciales.

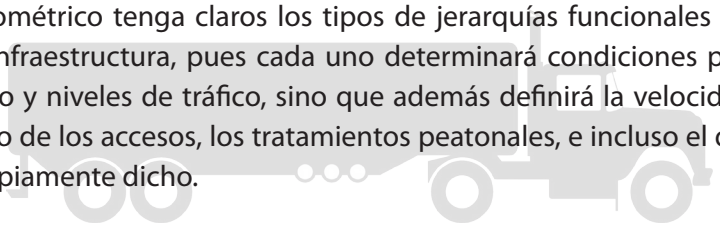
d. **Malla Vial Arterial Intermedia:** "*Está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma las mallas arterial principal y complementaria, sirviendo como alternativa de circulación a éstas. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal*" (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004). Estas vías, también denominadas colectoras, son alimentadas por los accesos locales y se encargan de distribuir los flujos hasta las redes arteriales; razón por la cual, de la presencia y distribución de la malla vial arterial intermedia depende la permeabilidad de la red urbana en general.

2. **Malla Vial Local:** *"Está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda"* (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004).

D

- **Vía arterial de integración regional: En sector suburbano conecta el sistema vial urbano con el sistema vial regional permitiendo viajes regionales y nacionales. En sector urbano aporta a la movilidad.**
- **Vía arterial principal: Aporta a la movilidad de viajes de larga distancia interurbanos.**
- **Vía arterial secundaria: Aporta a la movilidad y conectividad de viajes de media y larga distancia a escala urbana.**
- **Vía arterial intermedia: Aporta a la permeabilidad de la red y la distribución del tráfico a escala zonal.**
- **Vía local: Permite el acceso directo a los destinos finales del tráfico local.**

En concordancia con lo anterior, esta Guía utilizará el sistema de clasificación funcional para referirse a ciertos criterios y lineamientos del diseño geométrico urbano. Es indispensable que el diseñador geométrico tenga claros los tipos de jerarquías funcionales que intervienen en el proyecto de infraestructura, pues cada uno determinará condiciones particulares, no solo vinculadas al tipo y niveles de tráfico, sino que además definirá la velocidad y el vehículo de diseño, el manejo de los accesos, los tratamientos peatonales, e incluso el diseño planimétrico y altimétrico propiamente dicho.



1.3.1 Propuesta Complementaria

Adicional a lo formulado en el POT, esta Guía establece que, para el caso de las arterias regionales, principales y secundarias y las condiciones propias del Distrito, es necesario tener en cuenta algunas tipologías particulares, que incluyan además de las secciones proyectadas en un marco de planificación territorial, aquellas que corresponden a las condiciones actuales e imperantes en la ciudad (definiciones propias):

D

- **Autopistas Urbanas (AU): Vía arterial de alta velocidad con funcionamiento a través de peaje urbano, que permite desplazamientos dentro del área urbana de manera directa entre las zonas residenciales y las centralidades. Cuentan con control total de accesos e intersecciones exclusivamente a desnivel en zonas seleccionadas. Generalmente complementadas con calzadas paralelas para mitigar efectos barrera, pero con intercambio de calzada solo en zonas de enlace, mediante infraestructura especial que genere impactos mínimos en los niveles de servicio. Requieren características geométricas más exigentes en alineamiento horizontal y vertical, así como manejo de secciones transversales con segregación vertical especial para eliminar conflictos entre peatones y vehículos, al igual que entre las paralelas y las calzadas propias de la autopista. Pueden incluir carriles o zonas exclusivas para transporte masivo, con condicionantes adicionales.**
- **Vías Rápidas Urbanas (VRU): Vías arteriales de múltiples calzadas, con control de accesos y enlaces parcial. Estas vías suelen constituir la primera fase de una futura AU.**
- **Vías Arterias Convencionales (VAC): Vías arteriales, regionales, primarias y secundarias existentes, con circulación interrumpida por intersecciones a nivel y control parcial o ausente de accesos. Generalmente con proyecciones hacia la conformación de VRU.**

No obstante, el diseñador debe tener en cuenta que el diseño de una vía o intersección urbana será siempre único, pues bajo un análisis específico y puntual, las características del territorio ofrecen variaciones que a su vez otorgan condiciones particulares a cada proyecto que deben ser evaluadas según corresponda en cada caso. Así que los lineamientos que se den en función de la clasificación funcional de las vías son una base de partida para estructurar el diseño y ofrecer una metodología de desarrollo, que no precisa ni aplica sobre individualidades propias de cada proyecto.

Finalmente, es importante traer a colación el concepto de Intersecciones de la Malla Vial Arterial, definidas por el documento de formulación del POT 2012 (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ & SECRETARÍA DE PLANEACIÓN, 2012): las áreas de convergencia de vías de la malla vial arterial, deben ser resueltas de acuerdo con su capacidad, contemplando sistemas de control de tráfico peatonal y vehicular u obras de infraestructura. Las soluciones de las intersecciones se deben realizar tanto a nivel como a desnivel para racionalizar y articular correctamente los flujos peatonales y vehiculares del Subsistema Vial, incrementar la capacidad, disminuir los tiempos de viaje y reducir la accidentalidad, congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos. Las soluciones a desnivel, deben integrar proyectos de diseño urbano y arquitectónico que in-

cluyan componentes de espacio público, equipamientos y alternativas de aprovechamientos urbanísticos y que contribuyan con la financiación de estas infraestructuras que harán parte de la red de intercambiadores modales del Distrito, integrando soluciones de planeación urbana y de transporte, así como soluciones que contribuyan con las amenidades urbanas y la seguridad del entorno en que se implantan.

Las intersecciones entre vías de la malla vial arterial, tipo V0, V1, V2, V3 y V3E, se deben resolver sobre la base de los siguientes análisis para garantizar la transformación positiva del entorno urbano:

1. Urbanísticos y paisajísticos y de movilidad.
2. Seguridad vial: Tráfico peatonal, no motorizado, vehicular y su conectividad.
3. Financieros.
4. Ambientales.
5. Socio-económicos.

1.4 JERARQUIZACIÓN VIAL

Normalmente, los Planes de Ordenamiento Territorial, en los contenidos destinados a los subsistemas viales, definen una jerarquía vial y unos perfiles determinados que además de orientar y definir la conformación de zonas de reserva, permiten relacionar las características de la red vial, de manera agrupada y según parámetros como la sección transversal, el tipo de viajes y tráfico que albergan, el tratamiento peatonal, de cruces viales y de control de accesos, las velocidades de operación reglamentadas, entre otros aspectos.

Por tal motivo, a continuación se presenta un cuadro (Tabla 2) que complementa el sistema de jerarquización vial urbano propuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial y los requerimientos normativos establecidos en el Código Nacional de Tránsito Terrestre y el Plan Maestro de Movilidad, con el fin de ofrecer una herramienta al diseñador que otorgue un marco de referencia y clarifique los condicionantes a tener en cuenta en el diseño vial.

Tabla 2. Jerarquización Vial: Características y Restricciones

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	JERARQUÍA	ANCHO MÍN. SECCIÓN TRANSVERSAL (m)	FUNCIÓN	TIPOS DE VIAJES	TIPO DE TRÁFICO	CONTROL DE ACCESOS	CRUCES CON OTRAS VÍAS	MANEJO PEATONAL	PARADAS DE BUSES	ESTACIONAMIENTO EN VÍA	VEL. DE OPERACIÓN (Km/h)*
Malla Vial Arterial Regional y Principal	V0	100	Movilidad	De larga distancia	V. livianos V. pesados V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Masivo	Total	A desnivel	Segregación vertical entre vehículos. y peatones	Con exclusividad en estaciones y terminales debidamente diseñados	Prohibido	60-100
	V1	60	Movilidad	De larga distancia	V. livianos V. pesados V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Masivo	Total	A desnivel	Segregación vertical entre vehículos .y peatones	Con exclusividad y en estaciones y terminales debidamente diseñados	Prohibido	60-100
Malla vial Arterial Complementaria	V2	40	Movilidad y Conectividad	De media distancia	V. livianos V. pesados con restricciones V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Masivo Tpte Público	Total o Parcial	Según estudios	Según análisis de tránsito y seguridad	Con exclusividad y en estaciones y terminales debidamente diseñados o mediante bahías y/o zonas de parada si el ascenso y descenso de pasajeros es sobre el andén.	Prohibido	40-60
	V3	25-30	Conectividad	De media distancia	V. livianos V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Público	Parcial	Según estudios	Según análisis de tránsito y seguridad	Sobre carril de circulación o con bahía, según estudios de tránsito y seguridad vial.	Prohibido	40-60

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	JERARQUÍA	ANCHO MÍN. SECCIÓN TRANSVERSAL (m)	FUNCIÓN	TIPOS DE VIAJES	TIPO DE TRÁFICO	CONTROL DE ACCESOS	CRUCES CON OTRAS VÍAS	MANEJO PEATONAL	PARADAS DE BUSES	ESTACIONAMIENTO EN VÍA	VEL. DE OPERACIÓN (Km/h)*
Malla vial Arterial Intermedia	V4	22	Conectividad y Permeabilidad	De paso y local	V. livianos V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Público	Según análisis	Según estudios	Según análisis de tránsito y seguridad	Sobre carril de circulación o con bahía, según estudios de tránsito y seguridad vial.	Considerables si no se proveen facilidades fuera de la vía	30-60
	V5	18	Permeabilidad	De paso y local	V. livianos V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Público	Según análisis	Según estudios	Cruces controlados con canalización	Sobre carril de circulación o con bahía, según estudios de tránsito y seguridad vial.	Considerables si no se proveen facilidades fuera de la vía	30-60
	V6	16	Permeabilidad y Acceso predios	De paso y local	V. livianos V. emergencia V. proveedores y servicios Tpte Público	Ninguno	Según estudios	Cruces controlados con canalización	Sobre carril de circulación o con bahía, según estudios de tránsito y seguridad vial.	Considerables si no se proveen facilidades fuera de la vía	30-60
Malla vial Local	V7	13	Acceso a predios	Local	V. livianos V. emergencia V. proveedores y servicios	NA	A nivel	Considerable libertad con cruces aleatorios	Sujeto a consulta con la comunidad**	Aceptable excepto si se prohíbe expresamente por seguridad vial o tránsito.	<30
	V8	10	Acceso a predios	Local	V. livianos V. especiales	NA	A nivel	Considerable libertad con cruces aleatorios	Sujeto a consulta con la comunidad**	Aceptable excepto si se prohíbe expresamente por seguridad vial o tránsito.	<30
Vías Peatonales y Alamedas	V9	8	Acceso a predios, encuentro y recreación	De paso	Peatones	NA	NA	Completa libertad	Prohibido	NA	NA

* Se hace referencia a la velocidad de operación de las vías, sin embargo no se compromete la definición de la velocidad máxima de circulación, la cual debe ser acordar con la normatividad nacional y distrital que esté vigente
** Según la Ley 769 de 2002 el uso de vías locales por el servicio de transporte público está supeditado a la aprobación de la comunidad, por intermedio de las juntas administradoras

Fuente: Elaboración propia con base en (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004) y (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2002)

2. LOS USUARIOS

El análisis de la demanda de los proyectos de infraestructura vial es un tema que recae directamente sobre el componente de tránsito. En este sentido, se reconoce la importancia de identificar los diferentes actores o usuarios de la infraestructura ofertada y generar metodologías para el análisis y caracterización de tal demanda, como insumo principal para el predimensionamiento y dimensionamiento de los elementos geométricos, en lo referente al diagnóstico, así como parte del análisis multicriterio que se debe dar para una solución integral.

En los siguientes numerales se describen los aspectos enunciados previamente. No obstante, se debe tener presente que la Guía atenderá principalmente al diseño geométrico, por lo tanto y para mayor profundidad en los temas de este numeral, se recomienda seguir las referencias bibliográficas citadas.

En los proyectos geométricos que se adelanten en el medio urbano, a diferencia de aquellos desarrollados en sectores de índole rural o suburbano, son varios los usuarios que deben considerarse. Esto se debe al hecho de que las vías se comportan como un eje que articula las relaciones existentes entre los usos de suelo a escala local, zonal o urbana según sea la funcionalidad y jerarquía de la vía (MOPT, 1992) y, por tanto se originan viajes realizados en diversos modos y medios de transporte.

Así, el proyecto de diseño geométrico debe atender las necesidades y condicionantes propias de diferentes usuarios de la vía como lo son: el peatón, conductor, ciclista y pasajero.

2.1 PEATÓN

Cualquier persona puede formar parte de los peatones sin restricción alguna, siendo ésta la forma de transportarse más común e inmediata que se tiene para emprender un desplazamiento. Incluso, si caminar no es el medio principal que se usa para viajar, sí hace parte del itinerario de viaje para acceder a otros modos como el transporte público.

Es así como dentro de la normatividad distrital se ha orientado la política de movilidad con el peatón como centro de la misma, consecuentemente el Plan Maestro de Movilidad adoptado por el Decreto 319 de 2006 dispone en su Artículo 7 que "…*La prioridad del peatón: El peatón debe tener el primer nivel de prevalencia dentro del sistema de movilidad...*"

Son varias las condiciones determinantes para emprender la caminata como modo de viaje, según la AASHTO (AASHTO, Guide for the Planning, Design and Operation of Pedestrian Facilities, 2004) esta decisión involucra aspectos tales como: la distancia de viaje, densidad y diversidad de los usos del suelo, percepción de seguridad en la ruta y la comodidad que pueda ofrecer la misma.

Además de los aspectos anteriormente señalados, el responsable del diseño geométrico debe considerar las características de velocidad y espacio ocupado por el peatón.

- La velocidad comúnmente utilizada en el diseño de instalaciones peatonales es de 1.2 m/s (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000), sin embargo, ésta varía en un rango de 0.8 m/s a 1.8 m/s (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011). A nivel de Bogotá, se han obtenido distintos rangos de variación según sea la instalación en que se desplazan los peatones, al promediar estos se alcanza un registro mínimo de 0.92 m/s y un máximo de 2.05 m/s.

Tabla 3. Velocidad de caminata

VELOCIDAD (M/S	CRUCE PEATONAL	ESCALERAS	PUENTES	RAMPAS-ANDENES	PROMEDIO
Media	1,43	1,86	1,38	1,15	1,46
Percentil	1,57	2,12	1,52	1,46	1,67
Mínima	0,95	1,35	0,99	0,39	0,92
Máxima	2,46	2,54	1,60	1,60	2,05

Adaptado del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte
(ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.; Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005)

- El espacio ocupado por un peatón varía según el motivo de su caminata (trabajo, compras, placer entre otros) y, debe ser objeto de una observación particular orientada al tipo de infraestructura, el uso que la misma tendrá y la población a la cual está orientada. Según el HCM 2010 (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2010) para un peatón el área mínima consiste en una elipse de 0.5 m por 0.6 m para un total de 0.3 m^2. Para efectos del peatón en movimiento se utiliza una relación de 0.75 m^2, por peatón, para considerar una distancia de amortiguamiento o separación entre usuarios.

Finalmente, dentro de las necesidades peatonales, estas áreas tienen que considerar las limitaciones de las personas con movilidad reducida, y en sus diseños incluir características especiales para que sean accesibles a este tipo de peatón.

Dentro del proyecto de diseño geométrico, el peatón cobra importancia durante todo el proceso. En las etapas de diagnóstico, el análisis de seguridad vial debe tener en cuenta la exposición de este tipo de usuarios como condicionante principal de los niveles de riesgo de accidentalidad; posteriormente en las etapas de selección de alternativas, los tratamientos peatonales modificarán drásticamente los indicadores del componente de seguridad y por lo tanto influirán de manera notoria en la selección de la mejor alternativa. Finalmente, durante el diseño definitivo, este usuario requerirá de evaluaciones específicas desde el área de tránsito, para que conjuntamente con las áreas de diseño y urbanismo se generen los espacios en función de los requerimientos de demanda y se localicen las zonas de tránsito peatonal con base en las áreas con visibilidad, la continuidad de los espacios, la separación de conflictos y la configuración de la estructura de espacio público.

Los temas relativos a los peatones se tratarán puntualmente en los Capítulos 3 y 4 referentes a corredores e intersecciones, respectivamente.

2.2 CICLISTA

El uso de la bicicleta para trasladarse es en la actualidad ampliamente promocionada como un medio de transporte sustentable y saludable; así, los ciclistas cobran más importancia dentro de los planes y programas de orden distrital.

En general, el espacio ocupado por un ciclista es consistente, más no así, las habilidades, preferencias o necesidades de los distintos usuarios de estos vehículos. De esta forma, las características de los usuarios pueden encontrar diferencias según sea el propósito de viaje, la edad e incluso el tipo de bicicleta utilizada.

La importancia y manejo que las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto de diseño de la infraestructura vial deben dar a este usuario, son semejantes a las descritas para el caso del peatón.

Los temas relativos a ciclistas se tratarán puntualmente en los Capítulos 3 y 4 referentes a corredores e intersecciones, respectivamente.

2.3 CONDUCTOR

Existe una relación estrecha entre el proyecto de diseño geométrico y el conductor, este usuario se convierte en el articulador entre el vehículo y la vía y por tanto, está sujeto a las diferentes condicionantes que presenta el ser humano.

Así, se hace uso del término de tiempo PIEV - Percepción, Identificación, Emoción y Volición, un concepto comúnmente utilizado para temas de señalización y configuración de elementos de la infraestructura vial como cruces, divergencias y convergencias. La percepción alude al primer estímulo de reconocimiento de la información, por ejemplo reconocer el color de una señal "rojo"; posteriormente se profundiza en la identificación del estímulo, para el caso del ejemplo, se identifica la señal de PARE; a continuación en el proceso de emoción se decide la acción a tomar, como detenerse o no antes de la señal y finalmente en la volición se inicia la acción o maniobra de frenado. Es así, como este tiempo PIEV está determinado por factores (CAL Y MAYOR & CARDENAS G., Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones, 2007), como son:

- La fatiga.
- Enfermedades o deficiencias físicas.
- El alcohol y las drogas.
- Estado emocional.

- Clima.
- Época del año.
- Altura sobre el nivel del mar.
- Cambio del día a la noche y viceversa.

Varios estudios han logrado determinar rangos para esta variable a partir de los cuales se han definido, por ejemplo, las distancias y localizaciones óptimas de las señales de tránsito.

También se han tenido en cuenta otros condicionantes propios del conductor, como el campo de visión lateral y vertical tanto en reposo como en movimiento, y otros aspectos que además de ofrecer herramientas para la señalización, son básicos para la estimación de las distancias de visibilidad de parada, sobrepaso y decisión (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000), elementos de análisis obligatorio dentro del diseño geométrico.

2.4 PASAJERO

Dentro de este grupo de usuarios se encuentran aquellos que hacen uso del transporte público para su desplazamiento, en particular, el pasajero orienta las medidas relacionadas con las terminales del transporte público, diseño y distribución de paraderos en las rutas.

Respecto a los pasajeros, es necesario considerar aspectos tales como los tiempos de ascenso y descenso y los volúmenes estimados de pasajeros en espera. Estos aspectos varían dependiendo del diseño mismo del sistema de transporte público, tipo de paradas, tipo de bus, forma de pago entre otros.

Así, el urbanista en conjunto con el especialista en tránsito debe reconocer estas condiciones antes de acometer el diseño con el fin de garantizar un adecuado manejo del pasajero y su relación con los demás actores viales. Sobre la base de las necesidades identificadas, se realiza un proceso de dimensionamiento, que otorga insumos al diseñador geométrico para que las zonas de ascenso y descenso de pasajeros sean incluidas espacialmente en el planteamiento.

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Antes de emprender el proceso de diseño geométrico, el responsable del mismo debe contar con un conocimiento claro de las demandas a las cuales se verá sometida la infraestructura a diseñar. Para esto, ha de implementarse un estudio detallado del tránsito existente en la zona de influencia del proyecto, que debe determinarse según la escala de intervención del mismo y del sector en que se proyecte.

En el entorno urbano, los estudios de tránsito presentan una mayor complejidad por la estrecha relación "ciudad-transporte". Así, los flujos del tránsito están determinados por los usos de suelo, en donde las vías se comportan como un eje articulador de los usos colindantes. De lo anterior, es necesario considerar características de las vías urbanas, de las que se resaltan entre otras (MOPT, 1992):

1. Los volúmenes de tránsito están determinados por los usos del suelo.
2. Las vías urbanas operan con altos flujos vehiculares y velocidades menores a las que se esperarían en una vía rural; esto se debe a una mayor interrupción del flujo por la necesidad de articular la red y garantizar la conectividad y accesibilidad.
3. Se presenta una mayor participación de buses dentro de los volúmenes de tránsito, con las condiciones propias de este tipo de vehículos como son la existencia de paradas e iteración con pasajeros.
4. Existencia de varias opciones de ruta entre un mismo par origen destino, lo que determina que un cambio de las condiciones de la infraestructura vial lleva a una redistribución de los flujos de tránsito y por tanto se deba atender a un análisis espacial de las soluciones planteadas.
5. Presencia de polos generadores y atractores de viajes que pueden condicionar el tipo de solución geométrica o de control del tráfico que se plantee.

En concordancia, el proyecto de diseño geométrico deberá estar orientado para que soporte las demandas de tránsito más representativas durante su vida útil. En general, la información básica requerida para dimensionar la infraestructura vial incluye:

2.5.1 Demanda vehicular

En primer lugar, es necesario hacer una distinción entre los términos "Volumen" y "Demanda". Según el HCM 2010 (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000) el término Volumen se refiere a los vehículos que efectivamente cruzan por el punto de aforo; en presencia de congestión la demanda se refiere al volumen, más los vehículos remanentes en cola.

Por lo anterior, debe tenerse especial cuidado en verificar que la información de tránsito que se utilice como insumo para el diseño geométrico corresponda a la Demanda. Esto cobra importancia en el caso de que en la infraestructura vial se haya alcanzado la capacidad de la misma y por tanto el volumen será inferior a la capacidad.

Para el área urbana, es común tomar la hora de máxima demanda para un día típico; sin embargo, la selección de la hora de máxima demanda debe ser el producto de un estudio detallado del tránsito.

Así mismo, es necesario conocer el origen y destino de las demandas vehiculares, toda vez que la infraestructura propuesta puede modificar las rutas usadas por los conductores y así determinar el aumento o disminución de las mismas.

2.5.2 Distribución direccional

La distribución direccional se refiere al porcentaje de vehículos que circulan en uno u otro sentido para vías bidireccionales, tal distribución varía según el tipo de vía, ubicación de la misma, hora del día, entre otros aspectos. Es común que en horas de la mañana sean más cargados los sentidos viales que soportan los flujos que se desplazan a su lugar de trabajo o estudio, mientras que en horas de la tarde se invierte este patrón, siendo los sentidos viales con mayor demanda los que permiten el regreso al hogar.

Por tanto, a partir de la información de campo se deben caracterizar las demandas, su distribución direccional y giros importantes. Insumo que se torna indispensable en el análisis de líneas de flujo, el diagnóstico de la situación actual, los requerimientos de canalizaciones a desnivel por temas netamente de capacidad, entre otros aspectos que condicionan el planteamiento de alternativas y el diseño geométrico definitivo.

2.5.3 Composición del tránsito

La mayor o menor presencia de vehículos de carga pesada y buses dentro de las corrientes de tránsito influye en la operación de la infraestructura vial, en general, los buses y camiones tienen una aceleración menor y ocupan un mayor espacio.

En casos particulares, también puede ser necesario considerar la participación de otro tipo de vehículos como motocicletas y bicicletas con el fin de diseñar la vía para las condiciones especiales de este tipo de vehículos (MINVU, 2009).

Así, la determinación de la composición del tránsito llega a tener importancia en la definición del vehículo de diseño del proyecto y en la estimación de las longitudes de cruces, entrecruzamientos, convergencias y divergencias, debido a las diferencias en el proceso de aceleración y desaceleración de los tipos de vehículos, situación que en ningún caso debería ser promediada.

2.5.4 Horizontes de evaluación

El diseño geométrico debe garantizar condiciones racionales de operación dentro de un periodo de tiempo en que se proyecta la utilidad de la infraestructura, esto se hace sobre la base de las demandas futuras proyectadas por distintos métodos, desde el uso de modelos de crecimiento que involucren variables socio económicas hasta la proyección de series históricas de volúmenes de tránsito.

En consecuencia, proyectar demandas más allá de 15 o 20 años conlleva una gran incertidumbre, por lo que en general no se evalúan estos diseños con un horizonte de tiempo mayor. Por otro lado, es común que el desarrollo de la infraestructura obedezca a un mejoramiento gradual de la capacidad ofertada, con la construcción por etapas, situación que podría ser recomendada desde la evaluación de las condiciones del tránsito, si así se requiere.

Al respecto, a nivel distrital se ha fijado que para proyectos urbanísticos y arquitectónicos se requieren conocer las condiciones de operación a 5, 10 y 20 años, teniendo en cuenta el desarrollo por etapas y planes viales de la ciudad (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2007).

Finalmente, se recomienda considerar los horizontes al año de implementación, año de cada fase del proyecto, Año 5, Año 10 y Año 20 de operación.

3. CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS: GENERALIDADES Y ALCANCES DE LOS ESTUDIOS

3.1 CLASES DE PROYECTOS

Construcción: Se trata de aquellos proyectos completamente nuevos o que involucran intervenciones como adición de calzadas, implementación de carriles exclusivos para transporte masivo, desmonte y/o construcción de puentes, túneles, pasos a desnivel, rampas y orejas, obras de drenaje, espacio público nuevo. Esta categoría incluye intervenciones que parten de cero, es decir sin infraestructura vial existente, o proyectos sobre infraestructura existente que se derivan de un requerimiento de planificación consignado en el POT o una necesidad detectada en la etapa de operación del corredor o intersección en cuestión y que exigen nuevos análisis y diseños de detalle. Los proyectos de construcción demandan una transición por todas las etapas del ciclo del proyecto desde la idea, hasta la evaluación expost (Véase 3.2 Fases del Ciclo del Proyecto).

Los proyectos de construcción exigen: topografía, estudios geológicos y geotécnicos, de tránsito, de transporte (si se trata de infraestructura para transporte público colectivo o masivo), ambientales, de redes húmedas y secas, planteamiento de alternativas, evaluación de alternativas, diseño geométrico definitivo, urbanismo, paisajismo y espacio público (si aplica), plan de manejo de tránsito, pavimentación, obras de drenaje y estructuras, demarcación y señalización vertical, auditoría de seguridad vial y evaluación expost.

Complementación: Se trata de intervenciones proyectadas durante las etapas de preinversión de los proyectos, en el marco de una ejecución por fases, o ajustes al proyecto original y, en respuesta a la dinámica de crecimiento urbano. Éstas exigen niveles de actuación similares a las de los proyectos de construcción, pero no transición por las etapas de prefactibilidad ni factibilidad. Se supone que este tipo de proyectos tienen como base de desarrollo, diseños de detalle Fase III (Véase 3.2 Fases del Ciclo del Proyecto) y solo se requiere una actualización de estos a la condiciones actuales del proyecto.

Este tipo de proyectos requieren: topografía, monitoreo y replanteo de las condiciones de tránsito, ajustes a los diseños geométricos, plan de manejo de tránsito, pavimentación, obras de drenaje y estructuras, demarcación y señalización vertical.

Mejoramiento: Se asocia a las modificaciones geométricas y/o a las condiciones de regulación del tránsito, así como de la señalización vertical y demarcación de calzadas, con el fin de mejorar los niveles de servicio y seguridad vial. Incluye intervenciones como adición y/o ampliación de carriles, creación de carriles para cambios de velocidad (aceleración y desaceleración), generación de cuñas de incorporación, cambios al alineamiento horizontal, incorporación de sobreanchos, ampliación de andenes, incorporación de giros derechos canalizados, bahías de giro izquierdo, variaciones en el sistema de regulación y control en intersecciones (por ejemplo de pare a semáforo), medidas de tráfico calmado, otros similares.

El mejoramiento incluye además, topografía o localización directa en campo dependiendo del nivel de intervención, monitoreo de las condiciones de tránsito, diseños geométricos, plan de manejo de tránsito, pavimentación, demarcación y señalización vertical.

Es posible que los proyectos de mejoramiento se deriven de los resultados de auditorías de seguridad vial que dentro de las recomendaciones incluyan intervenciones específicas. En este sentido, se sugiere que los proyectos en operación cuenten periódicamente (cada cinco años) con evaluaciones de seguridad vial que permitan mitigar los riesgos de accidentalidad mediante este tipo de intervenciones.

Conservación: De acuerdo con los establecido por el Instituto de Desarrollo Urbano, los proyectos de conservación incluyen actividades que pueden ser orientadas a garantizar que se cumpla con el período de vida útil o a ampliar un nuevo período. Este tipo de proyectos abarca las categorías de rehabilitación, mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico.

Mantenimiento Rutinario: Se define como el conjunto de actividades tendientes a lograr el cumplimiento de la vida útil de la estructura, constituyéndose en una práctica preventiva. Es un proceso continuo (a intervalos menores de un año) para mantener condiciones de movilidad seguras y cómodas en el proyecto vial. Las actividades contemplan: la poda de árboles, reconstrucción de obras de contención vehicular afectadas, limpieza de obras de drenaje, sello de fisuras, sello de juntas, limpieza y reparación de señales, entre otras.

Mantenimiento periódico: Es una práctica preventiva o correctiva que comprende el desarrollo de actividades de conservación a intervalos variables entre tres y cinco años, destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos. Podrá contemplar además la construcción de algunas obras de drenaje menores y de protección faltantes en la vía. Entre las actividades de mantenimiento figuran: recuperación de pavimento (colocación de

capas asfálticas no estructurales), parcheo, bacheo, reposición de la estructura de pavimento (no comprometen masivamente las capas inferiores de la estructura del pavimento), reconstrucción o reparación de losas, reparación de andenes, demarcación lineal, señalización vertical.

Rehabilitación: Se refiere a la recuperación de las condiciones de la vía de tal forma que cumplan con las especificaciones técnicas del diseño original y puede ser parcial o total:

Rehabilitación Parcial: Se refiere exclusivamente al mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento. Dentro de estas intervenciones se pueden incluir proyectos de parcheo, recuperación de la capa de rodadura, reconstrucción sectorizada de la estructura de pavimento máximo hasta la primera capa granular de la estructura subyacente a la capa asfáltica, demarcación, remplazo de señales verticales en mal estado.

Rehabilitación Total: Hace referencia a la recuperación de las condiciones iniciales del proyecto, en todas las dimensiones: geométrica, urbanística, arquitectónica y de redes. Incluye temas de reconformación de alineamientos geométricos, estudios de tránsito, retiro, redimensionamiento y reemplazo total de la estructura de pavimento, reconstrucción de andenes, reemplazo de mobiliario urbano y, si se requiere, rediseño de redes.

3.2 ETAPAS DEL CICLO DEL PROYECTO

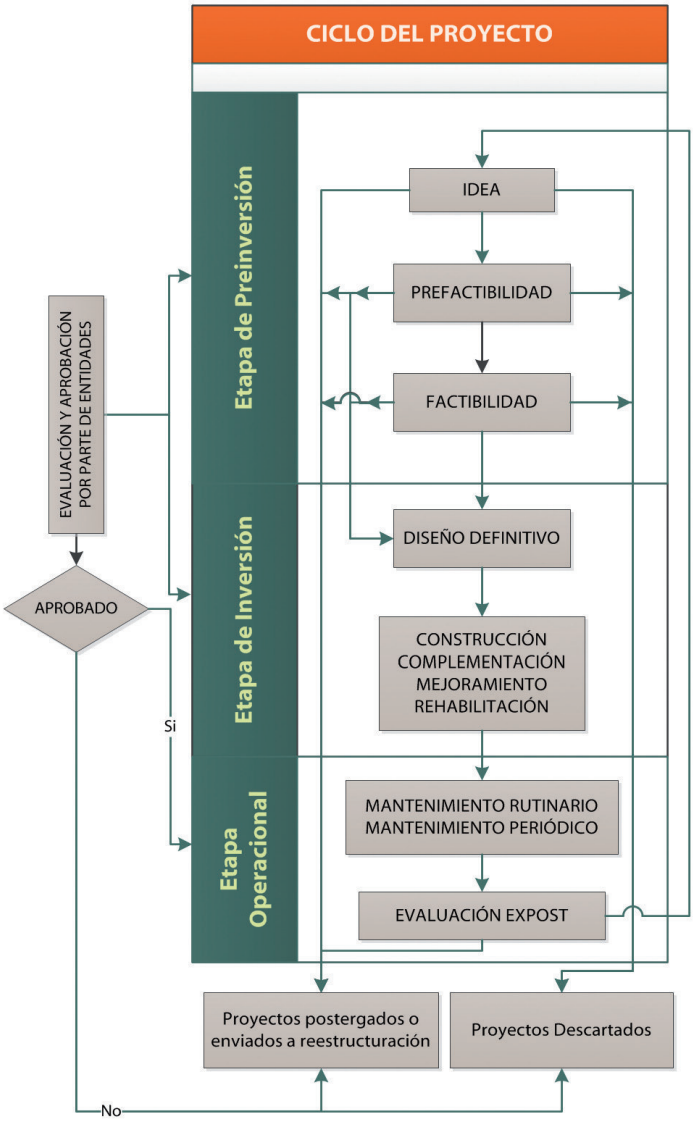
Todo proyecto de ingeniería debe contemplar en su desarrollo una serie de etapas sucesivas sobre las cuales se van detallando las características, alcance, tipo y demás aspectos que determinen la alternativa más viable y acorde a la necesidad o problema que se quiera resolver.

Un proyecto de infraestructura vial comienza con la identificación de la problemática o necesidad y termina en el momento en el que se logra cumplir los objetivos de cara a la solución de la necesidad identificada. Para esto es necesario abordar diferentes etapas secuenciales y complementarias a partir de las cuales se planifica y se estructuran los alcances, tiempos y costos; se construye, se opera y se evalúa; estas etapas, incluyen inicialmente la preinversión, posteriormente la inversión y por último la operación. Véase Figura 4. Ciclo del Proyecto.

En la etapa de preinversión se realizan los estudios necesarios para tomar la decisión de realizar o no el proyecto (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 1998). En ella se determina la viabilidad del proyecto, se detalla el diagnóstico de la situación actual y los objetivos estratégicos del proyecto, se evalúan alternativas y se estiman los alcances, costos y tiempos de las diferentes áreas de la ingeniería que intervienen en el proyecto de diseño de la infraestructura vial. Incluye las fases de idea, prefactibilidad (Fase I) y factibilidad (Fase II). De estas fases pueden resultar proyectos que se posterguen por temas de priorización y/o costos u otros que definitivamente se descarten por su inviabilidad.

La etapa de inversión se inicia con la elaboración de los estudios técnicos definitivos (Fase III), una vez finalicen, se debe dar inicio a las actividades de licitación, contratación y preconstrucción. Esto con el fin de mantener la validez de todos los estudios realizados y evitar posteriores inversiones en ajustes, que por lo general se traducen en un nuevo diseño. Dentro de esta etapa también tiene cabida la construcción, interventoría, entrega del proyecto y puesta en operación.

Figura 4. Ciclo del proyecto



Fuente: Elaboración Propia, adaptado de (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 1998)

Por su parte la etapa operacional inicia una vez los usuarios comienzan a utilizar la infraestructura vial. Además de la simple puesta en marcha del proyecto, es necesario incluir procesos de mantenimiento, seguimiento, control y evaluación de los resultados del proyecto, que pueden llevar incluso a retomar proyectos abandonados o al nacimiento de uno nuevo.

Debe aclararse que en Bogotá D.C, la malla vial arterial descrita en el Plan de Ordenamiento Territorial y en los planos topográficos y urbanísticos que se incorporan y aprueban por las diferentes autoridades urbanísticas corresponde a la fase denominada identificación de proyecto en la etapa de idea. Con sustento en la "idea" de una malla vial arterial descrita en los citados documentos de ordenamiento y desarrollo urbanístico, hoy se tiene definida la malla vial arterial de la cual se pasa directamente a la etapa factibilidad y diseño geométrico, aclarando que la factibilidad solamente se ha tenido en cuenta para el desarrollo de intersecciones viales.

Así pues, esta Guía reitera la importancia de incluir todas las fases en el proceso, sin obviar la prefactibilidad, la cual determina un punto de partida fundamental para la determinación de esquemas básicos que permitan una evolución de las ideas propuestas desde la planeación, incluyendo zonas de reserva reales y planteamientos con geometrías y presupuestos más aterrizados a la realidad de la ciudad.

En lo referente a la construcción y cesión de vías intermedias y locales, corresponde al urbanizador la responsabilidad del diseño y la construcción con fundamento en los trazados aprobados en una licencia de urbanismo, así como al Instituto de Desarrollo Urbano que verificará el desarrollo de todas la fases.

En general, el ciclo del proyecto contempla las siguientes etapas:

- **Idea:** Esta fase permite identificar claramente la necesidad, derivada de planes, políticas o programas, como el Plan de Desarrollo, el Plan de Ordenamiento Territorial, los Planes de Movilidad, Viales, de Espacio Público, Planes Parciales o programas de gobierno, que orientan las inversiones de los entes gubernamentales; así, esta fase obedece a un proceso de planeación a partir del cual se estructuran los proyectos que son llevados a las fases subsiguientes. (UNISUR. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Chaparro Valderrama, Jairo, 1996).

- **Prefactibilidad:** En esta fase, se requiere desarrollar un diagnóstico detallado de las condiciones actuales, así como de los requerimientos y condicionantes preliminares. Es importante clarificar los objetivos estratégicos del proyecto y resaltar los temas normativos, de planificación, prediales, de urbanismo, de tránsito y de seguridad vial que condicionen el proyecto, pues de un levantamiento claro y preciso de los requerimientos depende el planeamiento, las alternativas y su posterior evaluación. Es por esto que se considera indispensable que el uso de información secundaria se complemente con información tomada directamente en campo, especialmente para las áreas de tránsito, predios y redes, pues de lo contrario el planteamiento de alternativas posiblemente no corresponda a una situación real y conlleve a un rechazo del proyecto en futuras fases, debido a temas presupuestales asociados con las falencias del proceso de planificación y conceptualización de la infraestructura. El proceso de prefactibilidad incluye: la evaluación de 3 o más alternativas y permite la selección de la alternativa más viable, a nivel de ingeniería conceptual. No obstante, en los casos en los que

la evaluación multicriterio arroje resultados muy similares y las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, podrán presentarse hasta dos alternativas a la fase de factibilidad. En contraposición, este proceso también podría arrojar un resultado de inviabilidad que lleve a descartar definitivamente el proyecto.

Esta fase también debe llevar a una definición precisa de las zonas de reserva; conforme a las funciones que tiene asignada la Secretaría Distrital de Planeación, según lo indican los artículos 445 y 446 del Decreto 190 de 2004, Plan de Ordenamiento Territorial, las zonas de reserva vial y/o proyectos para construcción de infraestructura vial y de transporte que presente el Instituto de Desarrollo Urbano a la Secretaría Distrital, y deben estar debidamente avalados por las empresas de servicios públicos, la Secretaría Distrital de Movilidad y Transmilenio, cuando se trate de corredores de transporte masivo, trámites que deberían ser llevados a cabo en esta etapa.

- **Factibilidad:** Se lleva a cabo un estudio más riguroso acerca de la(s) alternativa(s) seleccionada(s), detallando los aspectos que la(s) hacen viable(s), y perfeccionando el diseño de manera que, si aún se están evaluando alternativas, existan criterios más precisos para escoger solo una de ellas. La alternativa seleccionada se perfeccionará a nivel de ingeniería básica, de manera tal que se reduzca al máximo la incertidumbre y se logré un margen de error menor en la estimación de aspectos técnicos, financieros, económicos y ambientales que condicionen la contratación de los diseños de detalle. Toda la información adicional recopilada permite conformar el anteproyecto o prediseño para la toma de decisiones de inversión (UNISUR. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Chaparro Valderrama, Jairo, 1996).

- **Diseño Definitivo:** Es la fase final previa a la construcción e incluye en detalle los aspectos técnicos definitivos del proyecto, al nivel de un proyecto de ingeniería fase III (ingeniería de detalle).

- **Construcción, seguimiento y conservación:** Es la puesta en marcha del proyecto de acuerdo con los diseños obtenidos de la fase anterior. Posterior a ésta se inician las fases de seguimiento y monitoreo de la operación del proyecto construido e inician los procesos de conservación.

Las fases de prefactibilidad, factibilidad y diseño son el objeto de la presente Guía, razón por la cual se describe en los siguientes numerales el alcance de los diferentes estudios condicionantes o paralelos al diseño geométrico en las fases mencionadas. La tabla que se presenta a continuación, muestra un resumen con la descripción general, alcances, precisión y exactitud indispensables para los estudios recomendados en las fases del proyecto vial.

Tabla 4. Estudios requeridos y alcance por fases en un proyecto de infraestructura vial urbana

FASE	ESTUDIOS MÍNIMOS REQUERIDOS	ALCANCE	ENTREGABLES	PRECISIÓN	GRADO DE EXACTITUD EN LAS ESTIMACIONES	OBSERVACIONES DE TOPOGRAFÍA Y DISEÑO
Prefactibilidad	Diseño Geométrico Urbanismo Tránsito Seguridad Vial Investigación Preliminar de Predios Investigación preliminar de redes Impacto ambiental y social Presupuesto Preliminar Evaluación de Alternativas	Diagnóstico Ingeniería Conceptual (Fase I)	Esquema Conceptual	1:1000 y 1:500 para detalles.	65%-75%	Pueden utilizarse Imágenes Satelitales (Google Earth) Ortofotos de segundo orden y Modelos digitales del terreno creados a partir de fuentes de geodatos (p.e. Google Earth). Se escoge 1 o a lo sumo 2 alternativas.
Factibilidad	Topografía Diseño Geométrico Urbanismo, Paisajismo y Espacio Público Tránsito Seguridad Vial Impacto Ambiental y social Geológico y Geotécnico Pavimentos Hidrológico e Hidráulico Estructural Servicios Públicos – Diagnóstico de redes Adquisición Predial Estructuración Legal y Financiera Evaluación final de alternativas	Ingeniería Básica (Fase II)	Prediseño	1:500	75%-85%	Pueden utilizarse ortofotos de primer orden – verdadera OV y/o herramientas de escaneado laser 3D. Si el proyecto está condicionado principalmente por la altimetría (terrenos montañosos) se requiere levantamiento topográfico básico. Se selecciona la alternativa definitiva.
Diseño	Topografía Diseño Geométrico Urbanismo, Paisajismo y Espacio Público Tránsito Seguridad Vial Ambiental y Social Geotécnico y de Pavimentos Hidráulico De redes Estructural Gestión Predial Costos, Análisis de Precios Unitarios y Cronograma Términos de Referencia y Licitación	Ingeniería de Detalle (Fase III)	Diseño Definitivo Detalles	1:500 y 1:200 para detalles	85%-95% como mínimo	Se requiere levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de detalle, con levantamiento de redes húmedas y secas. Todos los demás estudios deben contener información al detalle, con niveles de precisión altos y planos para construcción completos que impliquen niveles de incertidumbre mínimos.

Fuente: Elaboración Propia

Durante el transcurso de las mencionadas fases deberá existir un trabajo mancomunado de socialización y análisis con las entidades competentes en las diferentes áreas del conocimiento involucradas, a fin de que cada fase cuente con la respectiva aprobación y se pueda avanzar en el ciclo. Entre las entidades involucradas deberá tenerse en cuenta planeación, tránsito, instituciones ambientales, de renovación urbana, de servicios públicos, así como las gestoras y/o ejecutoras del proyecto.

3.3 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

La topografía es el elemento básico para realizar cualquier proyecto de infraestructura vial, sin embargo, las herramientas modernas permiten obtener para las primeras fases del proyecto precisiones aceptables, sin necesidad de realizar levantamientos topográficos convencionales.

Es así, como a nivel de prefactibilidad es aceptable trabajar con imágenes satelitales (Google Earth) u ortofotos[2] de segundo orden, es decir aquellas realizadas a partir de un modelo digital del terreno y cuya precisión es similar a la de la cartografía fotogramétrica digital (LERMA GARCÍA, 2002). En factibilidad podrán utilizarse ortofotos de primer orden, también conocidas como ortofotos verdaderas O.V., las cuales se obtienen sobre la base de un modelo digital de la superficie verdadera del terreno más el modelo digital de edificios, mediante tecnologías como las de escaneado laser. Mientras que la altimetría no condicione radicalmente el proyecto podrán utilizarse para la estimación preliminar de las rasantes, Modelos Digitales del Terreno (MDT) creados a partir de fuentes de geodatos (p.e. Google Earth), o MDT generados con las tecnologías de láser, para prefactibilidad y factibilidad respectivamente. En caso contrario deberá efectuarse un levantamiento topográfico de nivel básico.

Para los diseños definitivos deberá llevarse a cabo un levantamiento planimétrico y altimétrico de detalle que incluya el amarre al sistema Magna-Sirgas de la red del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C.), materialización de puntos con placa de aluminio, georreferenciación, poligonal base, referenciación de puntos de la poligonal, planimetría con levantamiento de detalles, incluyendo árboles, muros, construcciones, redes húmedas y secas, vías de paramento a paramento, señales, etc; altimetría con nivelación de todos los detalles antes nombrados, inspección de pozos, nivelación base, nivelación de precisión, nivelación de precisión del deltas de la poligonal, nivelación de secciones transversales, cálculo, procesamiento de datos y generación del modelo digital del terreno.

2 Una ortofotografía es una imagen de una zona de la superficie terrestre, en la que un alto porcentaje de los elementos presentan una escala homogénea, en teoría libre de errores y deformaciones, y aproximadamente con la misma validez de un plano cartográfico, en el aspecto de precisión (LERMA GARCÍA, 2002).

Para el caso del levantamiento de vías de paramento a paramento deberá realizarse con puntos sobre el eje, los bordes de vía, el bordillo y el paramento, cada 5 m. Estos serán representados en los planos mediante polilíneas con elevación de forma tal que al crear el modelo se aprecie al detalle la sección transversal incluyendo las inclinaciones transversales. Este insumo se convertirá en una herramienta indispensable para el proyectista en el diseño de los peraltes, los empalmes a las zonas existentes y el control altimétrico de los accesos.

Los modelos digitales deberán construirse mediante puntos con elevación, polilíneas 2D para elevación constante, y polilíneas 3D de elevación variable en cada vértice, también llamadas breaklines. En la fase de diseño definitivo, no es aceptable construir modelos digitales a partir de curvas de nivel o contornos exclusivamente. Es recomendable utilizar un solo modelo digital del terreno y evitar mezclas de modelos creados con diferentes metodologías y precisiones.

Finalmente, el MDT se convertirá en una herramienta no solo para el geométrico, sino también para los especialistas hidráulicos, de geotecnia y de redes, que haciendo uso de las herramientas modernas de software podrán sacar ventaja de este insumo.

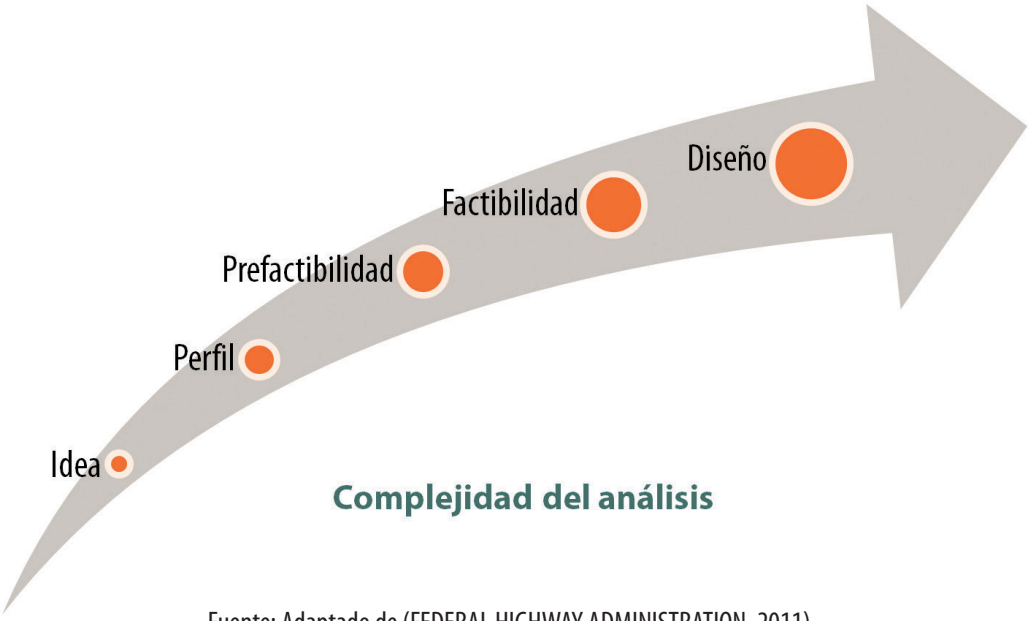
Es conveniente mencionar que la cartografía base a tener en cuenta por el Instituto de Desarrollo Urbano y sus consultores para las etapas de idea, prefactibilidad y factibilidad debe corresponder al empalme de las diferentes actuaciones urbanísticas y estudios propios de la Secretaría Distrital de Planeación –SDP–. En la actualidad la SDP está en capacidad de entregar dicha cartografía en formato digital, para el corredor vial en estudio y para el área aferente al mismo, que de cuenta del urbanismo aprobado con frente al corredor o intersección en estudio. Esta cartografía se considera insumo básico en la consolidación del proyecto toda vez que permite establecer el tipo de urbanismo aprobado y la configuración de la malla local e intermedia que conecta con el corredor y/o intersección en estudio así como su articulación con otro tipo de zonas de cesión tales como controles ambientales, zonas verdes y equipamientos.

3.4 ESTUDIOS DE TRÁNSITO

Los estudios de tránsito deberán aportar los elementos acordes con la etapa en desarrollo y responder a los interrogantes de cada etapa o servir de sustento en una evaluación integral para la definición de alternativas y selección de las mismas.

En cada etapa del proyecto, el alcance, insumos y productos que se deriven del análisis de tránsito tendrán un enfoque diferente, que deberá ser consistente entre etapas y acorde con las necesidades que requiera la fase en desarrollo; así, el análisis de tránsito es diferente y va aumentando en complejidad, requerimiento de información, recursos técnicos y tiempo consumido. Véase Figura 5.

Figura 5. Complejidad del análisis de tránsito entre fases del proyecto



Fuente: Adaptado de (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2011)

En las fases de *Idea y Perfil*, el componente de tránsito está orientado a coadyuvar en la identificación de alternativas, localización geográfica, diseño conceptual y estimar las demandas previstas para la infraestructura y por tanto la capacidad que ésta deberá brindar para operar en condiciones adecuadas en los horizontes de evaluación futura. En este nivel de análisis, se hace uso de modelos de transporte y se obtienen indicadores de operación de la red bajo diferentes escenarios, mediante información secundaria.

En la fase de *Prefactibilidad,* el análisis de tránsito debe contribuir a identificar el rango de alternativas posibles, descartando aquellas que estén sobredimensionadas o subdimensionadas; de esta manera, el análisis de tránsito permitirá evaluar las alternativas a nivel de red, partiendo de un diseño conceptual. Es recomendable el uso de modelos de simulación macroscópica para áreas geográficas mayores o modelo microscópico a nivel de red cuando el proyecto no sobrepase la escala zonal, con lo cual se obtienen resultados de la medidas de efectividad de la red, en términos de indicadores de tiempo de viaje, velocidades o demoras. Para esto se recomienda el uso de información primaria o secundaria actualizada (menos de un año), suficiente para la evaluación de impactos en la red de influencia directa del proyecto, ya que a este nivel las decisiones deben señalar el impacto del proyecto en el sector urbano a intervenir, incluyendo todos los actores viales presentes, en lugar de concentrarse exclusivamente en aspectos puntuales tratados de manera aislada.

La inclusión de todos los actores viales a nivel de prefactibilidad resulta fundamental, pues ignorar algún modo existente podría llevar a invalidar la alternativa en fases posteriores. Como se verá más adelante, a nivel de corredores e intersecciones, la evaluación e incorporación en los modelos de los diferentes flujos peatonales y de ciclousuarios, ofrece variables que alteran por

completo la operación de una infraestructura. La existencia de un cruce peatonal en una convergencia, por citar un ejemplo, modifica las variables del tipo de control (de ceda el paso a pare), las brechas, las demoras, las colas y consiguientemente los demás indicadores y concluir respecto a necesidades como carriles adicionales, pasos a desnivel, semaforizaciones, entre otras. Estas son situaciones que llevan a modificar por completo una alternativa, y que por lo tanto, para una mejor planificación, deberían ser tenidas en cuenta desde la fase de prefactibilidad.

En cuanto la *Factibilidad*, el análisis de tránsito deberá proveer información que soporte el diseño del proyecto y que permita definir la alternativa más viable; el análisis de tránsito es más intensivo e involucra un alcance dual que contempla tanto una evaluación en red como a nivel puntual, las cuales se desarrollan en paralelo manteniendo una comunicación dinámica entre sí. En esta fase sin embargo, no se debe llegar al nivel de definir parámetros como distancias de entrecruzamiento o planes semafóricos con precisión aunque se recomienda el uso de modelos de simulación microscópica y herramientas de optimización, con miras a obtener resultados de operación a nivel de red, tales como indicadores de tiempos de viajes, demoras, velocidades e indicadores puntuales de la infraestructura vial como niveles de servicio, índice de utilización, relaciones volumen capacidad entre otros.

La fase de *Diseño* requiere que el análisis de tránsito sustente el diseño de los elementos puntuales de la infraestructura vial e incorporar el análisis de entrecruzamientos, convergencias, divergencias, e intersecciones entre otros. El tránsito está encaminado a verificar que el diseño propuesto es suficiente para atender las demandas esperadas en condiciones seguras y cómodas; el uso de herramientas analíticas es recomendado en esta fase, a partir de las cuales se puedan conseguir medidas de efectividad como el nivel de servicio y relaciones volumen capacidad.

Para la fase de *Construcción y Seguimiento* del proyecto, el análisis de tránsito interviene en dos formas: en primer lugar se tendrá en cuenta el desarrollo de los planes de manejo de tránsito que deben orientar las medidas que permitan mitigar el impacto de la ejecución de las obras en la circulación de vehículos y peatones, en segundo lugar, el seguimiento del comportamiento de las condiciones de operación de la infraestructura frente a las demandas del tránsito y, corresponde a la toma de información periódica de demandas vehiculares y peatonales, así como al análisis de las condiciones de operación de la infraestructura para el replanteo de las intervenciones previstas inicialmente, de cara a desarrollo condicionado por diferentes fases constructivas.

El desarrollo de los análisis de tránsito en las diferentes fases del proyecto se resume en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis del tránsito en el ciclo del proyecto

FASE	OBJETIVO	NIVEL DE ANÁLISIS	INDICADORES DE OPERACIÓN
Prefactibilidad	Recomendar sobre las posibles soluciones. Aportar criterios para evaluar y comparar las alternativas viales. Aportar criterios que permitan descartar soluciones que no estén acordes con la necesidad (sobre dimensionadas-subdimensionadas).	Modelos de simulación: Macroscópica, Microscópica, Evaluación en red.	Indicadores de operación en red: Demandas. Capacidades. Tiempo de viaje. Velocidades
Factibilidad	Proveer información para el diseño de las alternativas. Ofrecer indicadores para definir alternativa más viable. Verificar que las alternativas planteadas son las adecuadas para las necesidades identificadas.	Modelos de simulación microscópica. Evaluación en red - Herramientas analíticas-determinísticas, software optimización.	Indicadores de operación en red: Tiempo de viaje. Velocidades. Indicadores de operación puntual: NdS, Volumen/capacidad, colas.
Diseño	Verificar el cumplimiento de parámetros de operación adecuados para el diseño de elementos puntuales (divergencias, convergencias, entrecruzamientos entre otros).	Herramientas analíticas-determinísticas, software optimización.	Indicadores de operación puntual: NdS, Volumen/capacidad, colas.
Construcción y Seguimiento	Desarrollo planes de manejo de tránsito. Monitoreo condiciones de operación de la infraestructura vial. Replanteo de intervenciones previstas en el desarrollo por etapas.	Modelos de simulación microscópica. Evaluación en red - Herramientas analíticas-determinísticas, software optimización	Indicadores de operación en red: Tiempo de viaje. Velocidades. Indicadores de operación puntual: NdS, Volumen/capacidad, colas

Fuente: Elaboración propia

El análisis de tránsito debe mostrar consistencia entre las diferentes etapas del proyecto y, constituye requisito indispensable para asegurar la calidad del estudio de tránsito y por ende del proyecto mismo. La consistencia hace referencia a que cada fase del proyecto es desarrollado sobre los resultados de la fase anterior, los criterios, suposiciones, metodología deben ser los suficientemente consistentes cubriendo la variabilidad de agentes externos y la dinámica de cambio temporal y espacial que está inmersa dentro del ciclo del proyecto.

En general, el análisis de tránsito supone un intercambio de información entre fases del proyecto, las cuales se retroalimentan complementando las capacidades ofrecidas por las metodologías y herramientas usadas en cada caso. De esta manera, es posible identificar una relación entre los diferentes alcances del análisis de tránsito, como se muestra en la Figura 6.

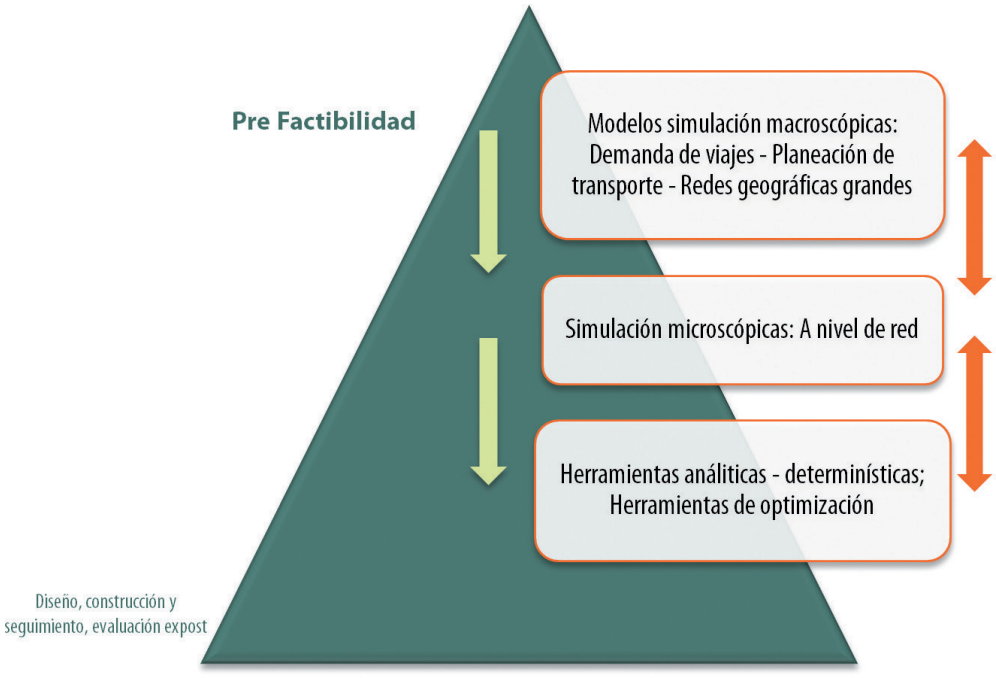
3.5 ESTUDIOS DE TRANSPORTE

Cuándo el proyecto impacte directa o indirectamente en zonas del SITP, bien sea en corredores troncales, pretroncales o de alimentación, deberá considerarse al área de transporte que suministrará insumos fundamentales para el desarrollo de la infraestructura vial, más aún cuando la política territorial actual propende por desarrollos orientados al transporte. El Nuevo Urbanismo adopta y desarrolla el concepto del Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) o "Transit

Oriented Development", el cual considera que la infraestructura y el equipamiento para el transporte público de pasajeros tienen un potencial que hasta el momento no ha sido explotado y que consiste en la posibilidad de estructurar y jerarquizar el espacio urbano. Se trata de la unión de dos funciones básicas urbanas con el objeto de que se complementen y potencien una a la otra; por un lado, del desarrollo de una eficiente infraestructura de movilidad que tenga como elemento central de desarrollo a un sistema de transporte público de pasajeros, y por otro, la reconfiguración de la estructura funcional de la ciudad mediante la creación de importantes nodos de actividad, potenciando así las características de movilidad que debe tener el espacio urbano contemporáneo.

En este orden de ideas, desde el área de transporte deberán realizarse, en todas las etapas del proyecto, estudios de demanda y oferta, modelos de transporte, encuestas y demás análisis para que sea a través de la definición de la infraestructura requerida para el transporte público (paraderos, estaciones, corredores, patios, terminales, zonas de intercambio modal), que se estimen las necesidades de infraestructura vial vehicular y peatonal que debe tener en cuenta el diseñador geométrico. La integración tardía de estos elementos puede acarrear deficiencias en la estructura vial, incoherencias entre el modelo de movilidad y el modelo territorial, errores en el costeo de proyectos, desintegración de los componentes urbanos, inconvenientes en la gestión del suelo y en la aplicación de instrumentos de gestión y financiación, entre otras problemáticas.

Figura 6. Integralidad entre alcances



Fuente: Elaboración propia.

3.6 URBANISMO, PAISAJISMO Y MOBILIARIO URBANO

A nivel de prefactibilidad, el estudio urbanístico presupone inicialmente el diagnóstico asociado a los requerimientos de planificación con las disposiciones que deben ser tenidas en cuenta y que están señaladas en documentos como: el Plan de Ordenamiento Territorial, los planes maestros, cartillas, manuales y normas que apliquen. A nivel urbanístico se identificará con apoyo de la oficina de planeación competente aspectos como: la zona de reserva, la funcionalidad y jerarquía de las vías a empalmar, los usos del suelo y actividades de la zona y en general los temas asociados a la integración del proyecto vial en la trama urbana y los efectos urbanísticos que produce en relación con la accesibilidad, la conectividad y el manejo peatonal y de ciclousuarios. Por su parte, la prefactibilidad a nivel arquitectónico y paisajístico comprende dibujos esquemáticos a escala, en los que se indica mediante manchas, posibles alternativas de solución, identificación de espacios, funcionamiento y relación entre los ambientes; operación del esquema, accesos, entre otros. En esta fase se realiza el delineamiento general del proyecto, basado en la información obtenida preliminarmente, la experiencia del arquitecto, las necesidades del cliente, y las directrices de las normas distritales o nacionales vigentes.

La Prefactibilidad deberá incluir una o varias alternativas a nivel general, que cumpla con los requerimientos principales, luego de tener un consolidado de la idea base con las demás especialidades. Finalmente, los resultados de esta fase se constituirán en soporte para la toma de decisiones en torno al proyecto.

Por su parte, en la factibilidad se hace uso de los resultados obtenidos en la fase anterior y de las proyecciones expresadas por la entidad contratante, comparándola con las normas oficiales vigentes. Esta fase comprende dibujos a escalas más detalladas, 1:500 y 1:200, de plantas, que incluyan cortes o perspectivas suficientes para la comprensión espacial del proyecto y para establecer las bases que permitan reafirmar la viabilidad desde el punto de vista técnico, aunque sin incluir planos suficientes para poder ejecutar la obra.

El diseño definitivo deberá ser elaborado con base en la factibilidad aprobada por la entidad contratante y debe contener toda la información necesaria para que la construcción pueda ser ejecutada correctamente desde el punto de vista urbano, arquitectónico y paisajístico, en armonía con sus exigencias técnicas y con los diseños de los demás especialistas involucrados. Debe incluir los planos y cómputos necesarios para la fabricación, instalación y mantenimiento del mobiliario urbano, para el tratamiento de andenes, bulevares y/o plazas del proyecto, así como las especificaciones del tipo de plantas a ser utilizadas en el tratamiento paisajístico de cada sector del proyecto y las recomendaciones para su conservación (SEDESOL, 2002). Lo anterior, en función de lo establecido en los decretos 361 de 1997, 1504 de 1998, 1003 de 2000, 379 de 2002, 279 de 2003, 1660 de 2003, 327 de 2004, 215 de 2005, 602 de 2007, 603 de 2007 y 470 de 2007.

El Diseño del proyecto incluye los siguientes trabajos:

a. Planos de localización, plantas, cortes, elevaciones, etc.

b. Diseño de superficies duras y semiduras.
c. Definición del mobiliario urbano, según criterio del diseñador tomando como guía la cartilla de mobiliario urbano del distrito.
d. Planos detallados: esquinas tipo, andenes tipo, intersecciones tipo, vías locales etc., sin incluir la elaboración de planos de taller, pero sí su oportuna revisión, aprobación y coordinación. Incluyen además, especificaciones detalladas que complementen los planos indicando los materiales que deben usarse y su forma de aplicación.

3.7 ESTUDIOS DE SEGURIDAD VIAL

Los problemas de seguridad que se presentan en las vías tienen características particulares en el medio urbano en razón a las altas intensidades del tráfico y por la importancia de los flujos de peatones (MOPT, 1992), lo que da lugar a niveles mayores de exposición y de vulnerabilidad y por consiguiente del riesgo de accidentalidad.

En este sentido, es indispensable que el diagnóstico base, realizable durante la prefactibilidad, ofrezca un análisis claro de las condiciones actuales de la seguridad vial, específicamente cuando se trata de un proyecto en zonas urbanísticamente consolidadas. Además de un estudio de accidentalidad se requerirá de una auditoría de seguridad vial[3] que evalúe hallazgos relativos al manejo de conflictos entre usuarios de la infraestructura, dando prelación a peatones y ciclistas, y que examine además las condiciones de la señalización vertical y horizontal, iluminación, estado de las vías y andenes, configuración planimétrica y altimétrica, peraltes, visibilidad, drenaje, elementos de contención vehicular, entre otros aspectos. Estos hallazgos orientarán los planteamientos futuros y permitirán verificar la coherencia de las alternativas propuestas frente a las problemáticas vigentes.

Así mismo, durante el proceso de evaluación de alternativas se podrán ofrecer indicadores de exposición, peligrosidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo que ayuden en la escogencia de la opción más favorable. Finalmente, durante la factibilidad y el diseño, la auditoría de seguridad vial detectará los ajustes requeridos para eliminar y mitigar al máximo la ocurrencia de eventos asociados con accidentes de tránsito.

Cabe mencionar que el análisis de seguridad vial en zonas urbanas es sustancialmente diferente del que se realiza en áreas rurales (MOPT, 1992), pues en este caso, no necesariamente se busca

3 Estudio formal de las condiciones de seguridad vial de una obra de infraestructura vial y/o de transporte, cuyo producto final consiste en una serie de recomendaciones frente a los hallazgos y riesgos identificados. Su función no es la de una interventoría, sino que traspasa los niveles normativos y contractuales, para alertar en torno a la infraestructura, la operación y vulnerabilidad de los usuarios de proyectos en fases de prefactibilidad, factibilidad, diseño, construcción u operación. Sirven para minimizar la necesidad de ejecutar medidas correctivas después de la construcción, mejorar la seguridad vial, eliminar o mitigar riesgos y especialmente como medida netamente preventiva.

la implementación de secciones holgadas y reducción completa de conflictos (específicamente para vías complementarias y locales). Por el contrario, en la percepción global de una vía urbana son importantes los cortes que ayuden a percibir al conductor un tipo de vía distinto y que además motiven la reducción de velocidades, asegurando claramente con las debidas canalizaciones y medidas de tráfico calmado. La incorporación de elementos adicionales como los sistemas de transporte, las facilidades para ciclousuarios, peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida, la presencia de centros generadores de tráfico y diversos usos del suelo, así como los conceptos de conectividad y accesibilidad, hacen que la connotación de un análisis de seguridad urbano sea completamente diferente al que se realiza en medio rural.

3.8 ESTUDIOS AMBIENTALES Y SOCIALES

El área que rodea un proyecto de infraestructura es un sistema interrelacionado de las variables naturales, sintéticas y sociológicas. Lo que conlleva a que los los cambios en una variable dentro de este sistema impactan sobre las otras. Las consecuencias de algunos de estos efectos pueden ser insignificantes, pero otros pueden tener un impacto fuerte y duradero en el medio ambiente o en las condiciones socioeconómicas de la población, si de mantener y mejorar la calidad de la vida humana se trata. Debido a que la ubicación del proyecto y las decisiones de diseño influyen en el desarrollo de las zonas adyacentes, es importante que las variables ambientales y sociales se tomen plenamente en consideración.

Los estudios ambientales deben contemplar el impacto físico, en especial la afección física al medio, contaminación del aire y ruido (MOPT, 1992). El ruido, junto con la contaminación del aire constituyen impactos ambientales característicos de las zonas urbanas. Los estudios ambientales se encargarán de advertir, evaluar y sugerir soluciones para mitigar dichos efectos, y señalar por ejemplo sistemas específicos de protección mediante masas de vegetación, pantallas anti ruido, etc. No obstante, cualquier medida requiere ser coordinada con el área de diseño geométrico para no generar afectaciones a la visibilidad, a la seguridad, ni a la continuidad de los flujos peatonales y/o vehiculares.

Por su parte, los estudios sociales en las fases iniciales de prefactibilidad y factibilidad además de contextualizar el proyecto y justificarlo desde la dimensión social con relación al desarrollo local y el mejoramiento de las condiciones de vida, debe incluir otro tipo de análisis como por ejemplo el manejo de impactos e incomodidades temporales que pueda ocasionar el proyecto, mitigación de impactos socioeconómicos que se produzcan por las obras de construcción, evitar los temas de especulación y desinformación de la comunidad frente al proyecto, ofrecer estrategias para el manejo de quejas y reclamos por limitaciones a la accesibilidad, ruidos y suspensión de servicios públicos, entre otras. También, debería relacionar las ventajas del proyecto frente al desarrollo y la generación de empleo e integrar otras ventajas socioeconómicas referentes por ejemplo al costo social del tiempo, en caso de que la nueva infraestructura reduzca tiempos de viaje, etc.

En la fase de diseño definitivo, los estudios sociales deben enfocarse a determinar los valores más relevantes del proyecto y proponer el plan de manejo. Así mismo, se deben proponer medidas de mitigación, dar soluciones a las problemáticas socioculturales que se generen, en concordancia con el análisis de las fases anteriores. Finalmente es importante determinar el valor estético, histórico, científico y socialcultural del proyecto.

A nivel de diseño definitivo, las evaluaciones ambientales y sociales deben trascender la identificación de impactos e incluir recomendaciones y la estimación de los costes que supone la eliminación o mitigación del impacto.

3.9 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y GEOLÓGICOS

Conviene efectuar recorridos a lo largo del trazo del proyecto previamente fijado, realizando una exploración, que permite definir la estratigrafía y las características de subsuelo. Así mismo, deberán llevarse a cabo todas las pruebas y análisis de campo y laboratorio de las muestras que se requieran o se consideren necesarias, en función de la normatividad vigente.

Los análisis de estabilidad de los trazados serán fundamentales, razón por la cual las zonas de falla o con problemas de estabilidad derivados de la composición estratigráfica deberán quedar plenamente identificadas. Durante las fases siguientes será indispensable un trabajo mancomunado con el área de diseño geométrico para que los alineamientos se ajusten a las consideraciones geológicas y geotécnicas.

A nivel de diseño deben figurar las especificaciones y el detalle para el soporte y construcción de las estructuras como puentes, túneles, hundimientos, cajones, entre otras estructuras.

3.10 ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Los estudios hidrogeológicos e hidráulicos deberán ofrecer insumos, por una parte, para el aseguramiento de las cotas máximas y mínimas del proyecto para garantizar el drenaje y la conexión a las redes existentes, así como para evitar inundaciones en las zonas cercanas a las rondas de los ríos. Estos insumos serán representativos del diagnóstico y se estimarán durante la fases de factibilidad.

A nivel de diseño definitivo, el área hidráulica presentará las redes pluviales y residuales del proyecto, incluyendo los elementos para la construcción y localización de rejillas, sumideros, tuberías y demás elementos requeridos. Deberá existir vinculación constante con el área geométrica, la cual brindará las cotas de pavimento por borde y por eje, así como la superficie digital del diseño a nivel de rasante, de manera tal que el hidráulico pueda identificar plena y claramente los puntos bajos, y evitar la generación de zonas de encharcamiento y facilitar la estimación de las áreas de aferencia.

3.11 ESTUDIOS ESTRUCTURALES

Desde la fase de factibilidad es importante incluir estudios estructurales que permitan verificar la viabilidad técnica de las soluciones a partir de la configuración de puentes, túneles, box vehiculares, muros y demás estructuras que exijan las soluciones planteadas. Se requiere además verificar temas como el cumplimiento de gálibos, la localización de estribos, muros y columnas, la disposición de elementos de contención vehicular, entre otros. Aunque el estructural realiza sus planteamientos en función de los esquemas planimétricos y altimétricos que ofrece el diseñador geométrico, será indispensable que este último, en conjunto con el especialista en espacio público, los revise con un enfoque tridimensional, para corroborar que los temas de visibilidad, seguridad y manejo peatonal se hayan tenido en cuenta.

Se recomienda que el insumo para el diseñador estructural no lo constituya simplemente la planta y el perfil, sino que adicionalmente se le entregue el prediseño o diseño de espacio público, y las áreas de visibilidad o zonas que deben quedar libres de objetos como apoyos o elementos estructurales, paisajísticos y de mobiliario.

3.12 ESTUDIOS DE PAVIMENTOS

Se deben desarrollar desde la factibilidad y revisar y/o perfeccionar en la fase de diseño definitivo. Los estudios atenderán lo previsto en los documentos técnicos y normativa vigente del Instituto de Desarrollo Urbano.

3.13 SERVICIOS PÚBLICOS

Los análisis de identificación, afectaciones, impactos y necesidades de todas las redes de servicios públicos que puedan afectar el proyecto y/o que se quieran de cara a la implementación de nueva infraestructura, se orientarán de acuerdo con la normatividad vigente. Como mínimo deberán incluir:

- Plena identificación de las redes de servicios públicos existentes en el área de influencia del proyecto.
- Identificación de conflictos, requerimientos y condicionantes en función de las alternativas propuestas.
- Gestión ante entidades públicas y privadas.
- Proyectos contemplados o en desarrollo.
- Ajustes, rediseños e intervenciones en el marco del proyecto.

Los insumos de esta área cobran vital importancia en la factibilidad para la complementación del diagnóstico, aunque la investigación se realiza a nivel de ingeniería básica. En la siguiente fase, es decir en el diseño, se alcanza el mayor nivel de detalle.

3.14 ESTUDIOS PREDIALES

A nivel de prefactibilidad no se requiere un estudio predial detallado, se puede realizar una aproximación de las áreas afectadas a partir de los esquemas propuestos y las herramientas de geodatos o cartográficas con que se esté trabajando.

Los estudios prediales tienen aplicabilidad desde la fase de factibilidad, en donde deben ofrecer una relación pormenorizada de las áreas expuestas a afectación producto de las propuestas contenidas en los proyectos. La mencionada relación deberá contener una descripción de las áreas, locales y/o inmuebles afectados y la magnitud de cada afectación en términos de áreas en m^2, perímetros, dureza de las construcciones existentes y tenencia y/o propiedad de cada una de ellas. Dicha relación deberá ser presentada en forma ordenada y secuencial por tramos de vía o tramos de proyecto (SEDESOL, 2002).

Esta relación será utilizada en la fase de diseño para dar inicio a un proceso de gestión predial que incluye el ordenamiento de retiros o de otra índole que deban ser contemplados anticipadamente para asegurar el oportuno inicio y finalización de las obras de construcción. Simultáneamente se adelantarán los demás análisis que se requieran para los procesos de adquisición de los predios afectados según la normatividad vigente.

3.15 ESTUDIOS GEOMÉTRICOS

Aunque la presente Guía contiene las precisiones para el estudio en referencia, este espacio se aprovechará para mencionar algunos aspectos de los entregables y el nivel de detalle en cada fase. Durante la prefactibilidad, los insumos para la elaboración de alternativas estarán determinados por el diagnóstico, cuya precisión y calidad establecerá la formulación de alternativas acordes con las necesidades y por lo tanto indicará el potencial de viabilidad. En esta fase, el diseñador presentará esquemas conceptuales en planta, que podrían incluir algunas rasantes si el proyecto está 100% condicionado por la altimetría. Estos esquemas deberán ser tan claros como sea posible, complementados con demarcación que permita entender el funcionamiento de la circulación y el manejo de prioridades, siendo estos insumos indispensables para los análisis de tránsito y urbanismo. Además, deberá contar con mecanismos gráficos que clarifiquen la disposición de niveles, si se trata de una infraestructura con pasos segregados verticalmente. En todo caso, los planteamientos conceptuales deberán ser auto explicativos y suficientemente claros para todas las áreas.

A nivel de factibilidad deberán presentarse prediseños con plantas ajustadas a los requerimientos, con geometrías mejoradas e incorporación de concatenaciones espiralizadas si se requieren. También se entregarán rasantes, peraltes y algunas secciones transversales que permitan entender el proyecto tridimensionalmente. La demarcación se complementará y se presentará con alto nivel de detalle, pues será insumo básico no solo para las modelaciones de tránsito, sino para el establecimiento de las líneas de contacto para el diseño altimétrico y de peraltes.

Finalmente, en la fase de diseño se ajustará lo que sea necesario en función de la integración con las demás áreas; y se generarán las cotas y coordenadas de pavimento, así como el modelo tridimensional de diseño, incluyendo no solamente las calzadas, sino también los elementos estructurales, paisajísticos, de mobiliario urbano, señalización vertical, iluminación, redes eléctricas, construcciones y demás elementos, que se requieran para poder visualizar el proyecto tal como quedaría construido y realizar así análisis de visibilidad, operación y seguridad vial, en función de la observación y estudio integral del proyecto en todas sus dimensiones.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

THE HIGHWAYS AGENCY,, ASSEMBLY GOBERNMENT LLYWODRAETCH, C. C., THE DEPARTMENT FOR REGIONAL DEVELOPMENT, N. I., & SCOTTISH GOVERNMENT. (2011). *DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES*. REINO UNIDO: THE HIGHWAYS AGENCY.

AASHTO, A. A. (2004). *Guide for the Planning, Design and Operation of Pedestrian Facilities.* E.U: AASHTO.

AASHTO, A. A. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington E.U: AASHTO.

ABONCE MEZA, R. (s.f.). *El Desarrollo Orientado al Transporte*. Recuperado el Mayo de 2012, de casamexico: http://www.casamexico.mx/cm/noticia_detalle.php?id=2591&idEstado=19

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. (2004). *PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Decreto 190.*

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. (2006). Decreto 319. *Plan Maestro de Movilidad*. Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. (2007). Decreto 596. *Por el cual se señalan las reglas para la exigencia, realización y presentación de estudios de movilidad de desarrollos urbanísticos y arquitectónicos en el Distrito Capital*. Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.; Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (Vol. Tomo II). Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, & SECRETARÍA DE PLANEACIÓN. (2012). *Modificación excepcional de normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial 2013. Documento Técnico de Soporte.* Bogotá D.C.: Borrador No aprobado.

CAL Y MAYOR, A., & CARDENAS G, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones* (Octava edición). México: Alfaomega.

CAL Y MAYOR, A., DUARTE GUTERMAN & ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (2006). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C.* Bogotá.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (2011). Guide on the Consistent Application of Traffic Analysis Tools and Methods.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, S. (1998). *Manual de Diseño Geométrico Para Carreteras.*

LERMA GARCÍA, J. L. (2002). *Fotogrametría Moderna Analítica Digital.* Universidad Politécnica de Valencia.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, R. D. (2002). *LEY 769 DE 2002.* Colombia.

MINVU, M. (2009). *Manual de Vialidad Urbana, Recomendaciones Para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana.* Santiago, Chile: MINVU.

MOPT, M. (1992). *Carreteras Urbanas, Recomendaciones para su Planeamiento y Proyecto.* Madrid, España: MOPT.

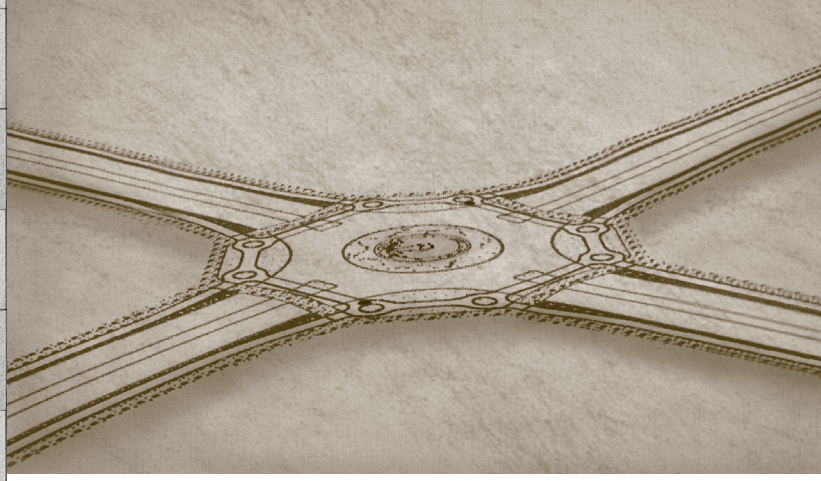
SANTA CLARA VALLEY TRANSPORTATION AUTORITY. (2007). *Bicycle Technical Guidelines.* Santa Clara, California.

SEDESOL, S. (2002). *Programa de Asistencia Técnica en transporte Urbano Para las Ciudades Medias Mexicanas TOMO IV, TOMO XI Y TOMO XII.* Mexico, Mexico: SEDESOL.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. (2000). *Highway Capacity Manual.*

TRB, T. (2010). *HCM, Highway Capacity Manual.* Washington DC: Transportation Research Board.

UNISUR. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Chaparro Valderrama, Jairo. (1996). *Metodologías para la construcción comunitaría: la generación de proyectos*. Recuperado el 22 de Mayo de 2012, de http://www.banrepcultural.org/blaa-virtual/sociologia/met1/7.htm



CAPÍTULO 2

CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE PROYECTOS VIALES URBANOS

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE PROYECTOS VIALES URBANOS 63

1 PASOS PRELIMINARES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 66

2 EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS (EMC) 71

2.1 LAS ALTERNATIVAS 71

2.2 LA EVALUACIÓN 73

2.2.1 Modelo de puntuación 74

2.2.2 Modelo de Jerarquías Analíticas AHP 75

2.2.3 El proceso de evaluación 79

2.2.4 Criterios recomendados 80

3 ANÁLISIS DE RIESGOS 84

3.1 ANÁLISIS DE RIESGO EN AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL 86

4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO BÁSICOS 87

4.1 VEHÍCULO DE DISEÑO 87

4.1.1 Clasificación y tipologías 87

4.1.2 Elementos geométricos de los vehículos de diseño 91

4.1.3 Trayectorias mínimas de diseño 93

4.1.4 Cálculo de sobreanchos 94

4.2 CONCEPTOS ASOCIADOS CON VELOCIDAD 107

4.2.1 Velocidad de operación 107

4.2.2 Velocidad de diseño 108

4.2.3 Velocidad específica 110

4.2.4 Velocidad reglamentaria 111

4.3 CRITERIOS BÁSICOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO 112

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquemas básicos para comparación de alternativas	72
Figura 2.	Variables influyentes en la selección del vehículo de diseño	87
Figura 3.	Trayectoria vehicular	93
Figura 4.	Trayectoria vehículo PM-5.79	96
Figura 5.	Trayectoria vehículo WB-12M	97
Figura 6.	Trayectoria vehículo WB-15M	98
Figura 7.	Trayectoria vehículo WB-19M	99
Figura 8.	Trayectoria vehículo SUM (C2)	100
Figura 9.	Trayectoria vehículo MICROBUS – 19 PAS -6.28	101
Figura 10.	Trayectoria vehículo BUSETA – 40 PAS -7.59	102
Figura 11.	Trayectoria vehículo BUSETÓN – 50 PAS -8.42	103
Figura 12.	Trayectoria vehículo PADRÓN – 80 PAS -12.25	104
Figura 13.	Trayectoria vehículo ARTICULADO – 160 PAS -18.29	105
Figura 14.	Trayectoria vehículo BIARTICULADO – 240 PAS -27.57	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ejemplo modelo de puntuación	75
Tabla 2.	Evaluación del criterio n, entre cuatro alternativas diferentes	76
Tabla 3.	Escala de Saaty	76
Tabla 4.	Índices aleatorios por tamaño de matriz	79
Tabla 5.	Ejemplos de calificación del riesgo y su tolerancia	86
Tabla 6.	Tipos de vehículos de diseño	90
Tabla 7.	Dimensiones vehículo de diseño	92
Tabla 8.	Radios de giro mínimos en las trayectorias vehiculares (en metros)	94
Tabla 9.	Velocidad de diseño de referencia Vs Jerarquía de la vía y tipo de terreno	109

1. PASOS PRELIMINARES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Teniendo en cuenta lo explicado en el capítulo anterior, se justifica la necesidad de incluir un diagnóstico completo de la situación actual, antes de iniciar cualquier proyecto vial este debe incluir, entre otros aspectos, el análisis del entorno urbano, las condiciones topográficas, los requerimientos de seguridad vial, la situación del tránsito actual y las correspondientes recomendaciones para la implementación del proyecto así como, los requerimientos del sistema de transporte.

En este sentido, esta Guía propone un proceso indispensable que deberá realizarse, luego que todas las áreas participantes en el proyecto consoliden el diagnóstico; en la fase de prefactibilidad, o en su defecto, al inicio de cualquiera de las fases siguientes, a manera de actualización. El proceso propuesto consiste en el diligenciamiento de una ficha que permitirá al diseñador geométrico contar con todas las herramientas necesarias para delimitar el alcance, las condiciones, limitaciones y requerimientos del proyecto. Esto con el fin de garantizar que la planeación de un determinado proyecto sea lo más completa posible y reducir la incertidumbre durante la ejecución del mismo.

A continuación, se presenta la ficha sugerida para la elaboración del diagnóstico multidisciplinario requerido:

Levantamiento general de requerimientos para el diseño vial - Diagnóstico
lista de chequeo

Proyecto	**Nombre:**					
	Contratante:					
	Contratista:					
	Tipo:	Construcción ☐		Complementación ☐	Mejoramiento ☐	
	Fase actual:	Prefactibilidad ☐		Factibilidad ☐	Diseño Definitivo ☐	
Localización	**Localidad:**					
	UPZ:					
	Barrio:					
	Zona de influencia:					
	Zona de Intervención:					
Territorio	**Clasificación del Suelo:**	Urbano ☐	De expansión Urbana ☐		De Protección ☐	
	Tipo de Tratamiento:	Consolidación ☐	Desarrollo ☐		Renovación ☐	
	Áreas de actividad:	Residencial ☐	Dotacional ☐	Comercio y servicios ☐	Central ☐	
		Urbana Integral ☐	Industrial ☐		Minera ☐	

Jerarquía Funcional			**Relación y Nomenclatura**	**Perfil POT**	**Consideraciones Especiales**
	Arterial Principal	**AU**			
		VRU			
		VAC			
	Arterial Complementaria				
	Intermedia				
	Local				

	Requerimiento	**Si/No**	**Descripción, consecuencias y tratamientos**
Controles primarios	¿El POT presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan de Desarrollo presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan Maestro de Movilidad y Estacionamientos presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan Maestro de Acueductos y Alcantarillado presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan Maestro de Energía presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan Maestro de Gas Natural presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		

	Requerimiento	Si/No	Descripción, consecuencias y tratamientos
Controles primarios	¿El Plan Maestro de Espacio Público presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El Plan Ciclorrutas presenta alguna exigencia o condicionamiento para el proyecto?		
	¿El proyecto está inmerso en el desarrollo de algún Plan Parcial?		
	¿El proyecto está en el límite urbano de la ciudad y genera impactos sobre otros municipios?		
Topografía	¿Las condiciones altimétricas del terreno natural son favorables o desfavorables para la configuración de algún tipo específico de tratamiento?		
	¿Existen ríos, quebradas o fuentes hídricas en la zona?		
Tránsito	¿Existe alguna calificación de la red en cuanto a indicadores de operación vehicular?		
	¿Existe alguna calificación de la red en cuanto a indicadores de operación peatonal?		
	¿El diagnóstico de tránsito concluye que mandatoriamente algún flujo vehicular y/o peatonal debe canalizarse a desnivel por temas de capacidad? (Aplica al inicio de la factibilidad, con el diagnóstico del estado de la prefactibilidad)		
	¿El diagnóstico de tránsito propone algún cambio en las secciones transversales actuales o del POT, en función de la capacidad? (Aplica al inicio de la factibilidad, con el diagnóstico del estado de la prefactibilidad)		
	¿Se recomienda la incorporación de carriles de giro, vías de servicio, rampas o conexiones para el mejoramiento de los indicadores de operación?		
	¿El proyecto prevé el funcionamiento de vías concesionadas?		
	¿Hay centros generadores de tránsito existentes o proyectados que impacten en el proyecto y a los que se les deba dar tratamientos especiales?.		
Transporte	¿Hay zonas de ascenso y descenso de pasajeros de transporte masivo existentes o proyectadas en la zona?		
	¿Hay zonas de ascenso y descenso de pasajeros de transporte público colectivo existentes o proyectadas en la zona?		
	¿Hay zonas amarillas o paraderos de transporte público individual existentes o proyectados en la zona?		
	¿Hay intercambiadores modales existentes o proyectados en la zona?		
	¿Hay patios de operaciones o terminales de transporte existentes o proyectados en la zona?		

	Requerimiento	Si/No	Descripción, consecuencias y tratamientos
Urbanismo y Mobiliario Urbano	¿Se dispone del perfil de paramentación longitudinal? Existe algún condicionante importante a considerar para el manejo de rasantes?		
	¿Existen limitaciones urbanísticas para el manejo de calzadas vehiculares elevadas o subterranizadas?		
	¿Urbanísticamente se sugiere la segregación vertical de algún(os) flujo(s) peatonal(es) a desnivel?		
	¿Actualmente existen barreras urbanísticas, arquitectónicas o de transporte que deberían ser corregidas con el proyecto?		
	¿El proyecto requiere cesiones públicas para parques y/o equipamientos?		
Urbanismo y Mobiliario Urbano	¿Existen tratamientos de conservación arquitectónica o áreas de reserva para la conservación y protección del patrimonio, o monumentos o mobiliario que se exija conservar?		
	¿El proyecto es susceptible de generar puntos de encuentro, zonas de intercambio modal, cicloparqueaderos, park and ride, plazoletas u otras áreas especiales antes no previstas?		
Ambiental	¿En el área de influencia del proyecto se localizan áreas de reserva para la conservación y protección del medio ambiente y los recursos naturales?		
	¿Existen en la zona de influencia áreas expuestas a amenaza y riesgo naturales? Especialmente inundación o deslizamiento.		
	¿Existen rondas hídricas, acuíferos o fuentes de agua que requieran tratamientos y asilamientos especiales? Genera esto restricciones constructivas al diseño altimétrico?		
	¿Existen especies arbóreas cuya localización e imposibilidad de traslado condicionen el trazado geométrico?		
	¿Los niveles admisibles de ruido generan algún requerimiento especial en el manejo de rasantes y configuración geométrica?		
Seguridad Vial	¿El análisis con base en los registros de accidentalidad existentes dentro del área de influencia, da alguna idea específica de los puntos o zonas que requieren tratamiento?		
	¿Por seguridad vial algún flujo peatonal o de ciclousuarios debe ser segregado verticalmente?		
	¿Por seguridad vial algún flujo vehicular debe ser segregado verticalmente? Aplica para vías arteriales.		
	¿Por seguridad vial se exige alguna recanalización o cambio en el manejo de prioridades de alguna intersección?		
	¿Por seguridad vial se exige algún tratamiento especial para el manejo de velocidades enfocado hacia es tráfico calmado? Aplica para vías intermedias y locales.		
	¿Actualmente existen estructuras o elementos que se deban tener presentes para garantizar gálibos horizontales y/o verticales?		

Otros	¿Existen intersecciones adyacentes que desde una visión interdisciplinaria merezcan ser analizadas en red para proponer alternativas vinculantes que tengan en cuenta flujos desde y hacia cada uno de los cruces involucrados?		
	¿Los niveles de agua máximos, la localización del nivel freático y la conexión a las redes hidráulicas genera algún condicionante especial para el manejo de las rasantes, y el drenaje superficial?		
	¿El proyecto exige la subterranización de las redes de servicios públicos?		
	¿Existen líneas de conducción eléctrica de media o alta tensión que condicionen los trazados geométricos o afecten los gálibos del proyecto?		
	¿Existen predios dotacionales, industriales o de conservación arquitectónica que condicionen radical y definitivamente el trazado del proyecto y/o que requieran ser incorporados en la solución final de manera especial para temas de accesibilidad y conectividad?		
Otros no incluidos			

2. EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS (EMC)

El planteamiento de alternativas y la posterior selección multicriterio de la más favorable, es un proceso que debe realizarse para proyectos de construcción, complementación y mejoramiento, en la fase de prefactibilidad, y en algunos casos en la fase de factibilidad. Como se señaló en el Capítulo 1, el proceso de prefactibilidad inicia con la evaluación de tres o más alternativas con el fin de identificar la más viable, a nivel de ingeniería conceptual. No obstante, en los casos en los que la evaluación multicriterio arroje resultados muy similares y, las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, podrán pasarse hasta dos alternativas a la fase de factibilidad.

D

Definición alternativa: Una alternativa es aquella que es capaz de alternar con otra u otras con funciones semejantes, pero con planteamientos de solución diferentes (definición propia de esta Guía). Por lo tanto, el diseñador deberá plantear opciones que para ser evaluables deberán caracterizarse por:

- **Primero:** Las alternativas deben ser **excluyentes,** es decir basadas en planteamientos operacionales y geométricos con diferencias claras y notorias. Por ej. Glorieta a Desnivel Vs Intersección tipo Trébol. Modificaciones leves de una alternativa se analizan como variantes (Alternativa 1A, 1B, 1C), siempre y cuando no se deforme el concepto operacional.
- **Segundo:** Las alternativas deben ser **razonables,** es decir, acordes con la necesidad y el diagnóstico.
- **Tercero:** Las alternativas deben ser **comparables** desde un mismo punto de referencia, para esto deberán contar con determinada semejanza en el alcance de la intervención y la cantidad de requerimientos o restricciones técnicas y/o económicas incorporadas. Por ejemplo no tendrá lógica comparar un intersección a nivel con una intersección de 2 niveles o más. Decisiones como están deben ser tomadas durante el diagnóstico previo al planteamiento de alternativas.
- **Cuarto:** Las alternativas deben ser **realizables.**

2.1 LAS ALTERNATIVAS

Las alternativas que se proyecten deberán estar acordes y ser coherentes con el diagnóstico multidisciplinario. Para efectos del planteamiento de alternativas, el diseñador debe tener claro que:

Para poder llevar a cabo la evaluación de alternativas es indispensable que los esquemas conceptuales que el diseñador proyecte sean claros y de fácil interpretación para cualquiera de las áreas que intervienen; en resumen los esquemas conceptuales deben ser auto-explicativos. Se recomienda que el esquema trascienda el simple planeamiento de ejes y bordes de calzada que en ocasiones resultan confusos, e incluya elementos gráficos que permitan visualizar el proyecto más cercano a la realidad. Se puede considerar la incorporación de achurados, bloques por niveles y especialmente incluir la demarcación (señalización) horizontal. Esta última, resulta fundamental no solo para clarificar el proyecto y su operación, sino para las correspondientes evaluaciones de tránsito y para el diseño altimétrico. A continuación se presenta un ejemplo de esquemas conceptuales para evaluación de alternativas:

Figura 1. Esquemas básicos para comparación de alternativas



Alternativa 1 Cruce en Diamante



Alternativa 2A Glorieta a Desnivel



Alternativa 2B Glorieta a Desnivel con par vial y paso adicional a desnivel

Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S

Complementariamente, para todas las intersecciones a desnivel deberán presentarse las rasantes de los ejes principales, desde la fase de prefactibilidad, pues de estas se desprenderán algunos indicadores importantes para la evaluación multicriterio, asociados principalmente al predimensionamiento de estructuras y los movimientos de tierra.

Posteriormente, estas alternativas deben ser comparadas mediante una evaluación multicriterio que lleve a identificar la mejor alternativa en términos de funcionalidad (tránsito, transporte, seguridad vial, urbanismo); impactos (ambientales, socioeconómicos, paisajísticos); costos y rentabilidad (operacionales, prediales, estructurales, geológicos, geotécnicos, hidráulicos, de servicios públicos). Así, la evaluación de alternativas se fundamentará en el análisis de las ventajas y desventajas comparadas de las alternativas, las cuales deben ser identificadas, medidas y valoradas.

2.2 LA EVALUACIÓN

Una vez se cuente con alternativas excluyentes, razonables, comparables y realizables se procede a la evaluación de las mismas, con el fin de analizar cada solución, tanto en sus particularidades y aspectos puntuales, como en su influencia y comportamiento con el entorno de influencia y para poder así contrastar la situación actual (sin proyecto), como futura (con proyecto). Los parámetros clave a evaluar incluyen aspectos de tipo predial, socioambiental, urbanístico, geométrico y de seguridad vial, de tránsito, de redes de servicios públicos, entre otros. No obstante, todo el proceso de evaluación termina siendo un análisis económico basado en los indicadores que se obtengan de cada área, cuyo objeto es establecer, si los beneficios del proyecto justifican o no la inversión. Así, entre más auto explicativo sea el esquema básico conceptual o prediseño (para prefactibilidad y factibilidad respectivamente), los indicadores de cada disciplina podrán tener un margen de error menor y por tanto la selección de la alternativa podrá atender a situaciones menos especulativas.

Seguidamente y sobre la base de las evaluaciones de cada alternativa debe elaborarse, una matriz comparativa que permita ponderar objetivamente cada elemento de las evaluaciones, de acuerdo con su peso o preferencia dentro del proyecto, a fin de seleccionar la alternativa más conveniente en cada caso. Esta matriz debe realizarse para cada una de las especialidades involucradas en la decisión, a fin de que el proyecto satisfaga todos los aspectos separadamente. La entidad encargada de tomar la decisión final sobre la selección de la alternativa ideal, debe prestar especial cuidado en revisar para cada parámetro de medición, un peso o preferencia, que refleje realmente su importancia. Esta matriz debe realizarse para cada una de las especialidades involucradas en la decisión, a fin de que el proyecto satisfaga todos los aspectos separadamente (Secretaría de Desarrollo Social; Dirección General de Ordenación del Territorio).

En este orden de ideas, para realizar una EMC, se requiere identificar, medir y valorar. (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoamérica no y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008).

Procedimiento básico de la EMC

- **Identificación de Impactos:** El primer paso consiste en determinar en forma cualitativa, los impactos positivos y negativos que genera el proyecto, en las diferentes áreas involucradas.
- **Medición:** Se refiere a la cuantificación en unidades físicas, del ítem a evaluar. El valor puede ser relativo, asociado a la comparación con un par que represente el ideal, para el caso por ejemplo de seguridad vial, o en unidades físicas, y para el caso de ítems como volúmenes de movimientos de tierra.
- **Valoración:** Se refiere por una parte, a la asignación de pesos para cada variable y a la generación de la calificación final de cada alternativa.

La EMC supone la capacidad de identificar, medir y valorar, todos los beneficios involucrados, cuestión que en la práctica no siempre es posible. Así, los beneficios que se deben identificar, medir y valorar, son aquellos que resulten relevantes desde el punto de vista del inversionista que desea llevar a cabo el proyecto (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoaméricano y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008).

Como se menciona en el Manual Metodológico de Evaluación Multicriterio para Programas y Proyectos, (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoaméricano y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008) l*os métodos de comparación en la jerarquización o priorización o selección de alternativas proyectos responden a distintos tipos de evaluación que pueden ser clasificados en dos grupos, dependiendo de la cantidad de objetivos con los que puedan trabajar. Los métodos simples son aquellos que realizan análisis a partir de un solo objetivo y los métodos complejos que pueden trabajar con varios objetivos simultáneamente; los que a su vez se agrupan en métodos cuantitativos, cualitativos y mixtos.* Para el caso de EMC de proyectos de infraestructura vial urbana, esta Guía recomienda el uso de métodos complejos mixtos, específicamente, modelos de puntuación o ponderación y modelos AHP (por sus siglas en inglés Analytic, Hierarcchy Process).

2.2.1 Modelo de puntuación

Este tipo de modelo trata de medir el aporte que realiza un proyecto al logro de un determinado objetivo; se refiere por lo general al deber ser de un proyecto en cada una de las áreas a evaluar. Asigna un peso o ponderación a cada objetivo, en función de las necesidades y fines propios de cada proyecto y de la decisión conjunta que realice la entidad en acuerdo con los especialistas de las diferentes disciplinas que intervienen en el diseño y ejecución del mismo.

A partir de dichas ponderaciones se obtiene un puntaje para cada objetivo y, se determina un puntaje único para el proyecto. Para ello, se pueden emplear modelos aditivos, multiplicativos u otras funciones matemáticas. Un ejemplo de modelo aditivo es:

$$P_j = \sum_{i=0}^{n} W_i * S_{ij}$$

Donde
P_j= Puntaje del Proyecto j
W_i= Ponderación del Objetivo i
S_{ij}=Puntuación del Proyecto j frente al Objetivo i

Estos modelos ofrecen la ventaja de permitir la jerarquización de proyectos según su aporte a objetivos preestablecidos. Sin embargo, las escalas deben ser proporcionales e iguales en todos los proyectos que se estén comparando lo cual conlleva a determinar si un proyecto es mejor o peor que otro en términos de porcentaje.

El modelo de pesos, suele complementarse con el de jerarquías analíticas que se explicará más adelante. Un ejemplo de evaluación en un área dada del proyecto, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo modelo de puntuación

		CRITERIO	"PONDERACION (Peso Relativo)"	P (1-9)	P (1-9)	P (1-9)	PONDERADO		
SEGURIDAD VIAL				Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 1	Alt 2	Alt 3
	1	Criterio 1	30%	5	3	7	1,5	0,9	2,1
	2	Criterio 2	20%	7	3	7	1,4	0,6	1,4
	3	Criterio 3	25%	5	7	5	1,3	1,8	1,3
	4	Criterio 4	25%	7	7	5	1,8	1,8	1,3
			100%	24	20	24	5,9	5,0	6,0

Fuente: IDU, Matriz Intersección Guaymaral.

2.2.2 Modelo de Jerarquías Analíticas AHP

Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, diseñado por Thomas L. Saaty, que consiste en ordenar componentes o variables en una estructura jerárquica y, obtener valores numéricos para los juicios de preferencia. Finalmente, se les sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad.

Esta metodología se basa en el principio de establecer prioridades. El cálculo de la prioridad se realiza en función de comparaciones a pares, con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz, cuyo orden está dado por el número de alternativas definidas para la evaluación; conviene realizar una matriz para cada criterio de evaluación, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Evaluación del criterio n, entre cuatro alternativas diferentes

AHORRO DE TIEMPO DE VIAJE				
	Alternativa 1	Alternatica 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1			
Alternativa 2		1		
Alternativa 3			1	
Alternativa 4				1

Fuente: ikons ATN- Asesores en Transacciones de Negocios. Proceso Jerárquico Analítico Aplicado a la Elección de un Proyecto Piloto de Autopistas Urbanas en Colombia. Bogotá, 2010.

La tabla anterior permite explicar que, por ejemplo, para el criterio "Ahorro en tiempo de viaje", el usuario del modelo debe comparar, leyendo la matriz de izquierda a derecha (primero las filas y luego las columnas), la alternativa 1 con la alternativa 2 (círculo rojo); luego la alternativa 1 con la alternativa 3 (círculo verde); la alternativa 1 con la alternativa 4 (círculo púrpura), la alternativa 2 con la alternativa 3 (círculo naranja); la alternativa 2 con la alternativa 4 (círculo amarillo) y finalmente la alternativa 3 con la alternativa 4 (círculo negro), para completar el total de las celdas sobre la diagonal principal de la matriz, tal como se muestra en la Tabla 2.

La comparación de las alternativas se lleva a cabo cuantificando la importancia con respecto a la preferencia, al tiempo que el usuario del modelo debe formularse la siguiente pregunta: ¿Cuál de las dos alternativas es preferible considerando el criterio analizado? La preferencia se expresa mediante una escala relacional de comparación de pares.

Tabla 3. Escala de Saaty

INTENSIDAD	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	De igual Importancia.	Las dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada Importancia.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia Fuerte.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
7	Muy Fuerte o Demostrada Importancia.	Una alternativa es mucho más favorecida que la otra y su predominancia se ha demostrado en la práctica.
9	Extrema.	La evidencia que favorece una alternativa sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
2,4,6,8	Valores Intermedios.	Valores adyacentes.
Recíprocos	Aij=1/aij	Hipótesis del método.

Fuente: THOMAS SAATY, 1997. Tomado de (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008).

En consecuencia, si el usuario del modelo determina que la alternativa 1 es más rentable que la 2 respecto del criterio en evaluación, deberá llenar el campo correspondiente al círculo rojo de la figura anterior con un número del 1 al 9, de acuerdo a la escala relacional presentada anteriormente. Si por el contrario, el usuario del modelo considera que la alternativa 2 es más importante que la 1, deberá llenar el campo correspondiente al círculo rojo con un número en forma de fracción (1/2, 1/3,…,1/9) reflejando la importancia de la alternativa 2 sobre la 1. Posteriormente, se debe colocar, en la celda bajo la diagonal principal, el valor recíproco al ingresado en la parte superior de dicha diagonal. El mismo procedimiento debe realizarse para los campos correspondientes a los círculos de color verde, naranja, púrpura, amarillo y negro, en cada una las matrices (criterios).

De la misma manera en que se comparan las alternativas, deben compararse los criterios, para definir la importancia relativa entre ellos; procedimiento que equivale a la asignación de pesos según el primer método ya mencionado. Esta calificación se hará como ya se explicó, ingresando los valores de preferencia sobre la diagonal de la matriz y los valores recíprocos bajo la misma.

*De acuerdo con lo anterior, una vez que se ha construido el modelo jerárquico, en donde se incorporen los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión, ingresando los juicios correspondientes a la comparació*n de *pares, el problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios que representarán las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente, según se explica a continuación*: (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoamérican o y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008)

$$A * w = \lambda * w$$

Donde:
A= Matriz de comparaciones
W= Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad
λ= Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios.
Por ejemplo, la comparación entre 3 alternativas, o 3 criterios A, B y C, podría arrojar los siguientes resultados:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0.25 \\ 2 & 1 & 0.5 \\ 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Luego se calcula el cuadrado de la matriz simplificada (la que contienen números decimales) y se suman los elementos de cada fila:

$$\begin{pmatrix} 3 & 1.5 & 0.75 \\ 6 & 3 & 1.5 \\ 12 & 6 & 3 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} 5.25 \\ 10.5 \\ 21 \end{matrix}$$

Los valores obtenidos para cada fila se suman (5.25+10.5+21=36.75). Posteriormente, cada uno de estos valores es dividido por la suma resultante, para así obtener el vector propio, que representa el resultado de las prioridades para cada criterio o cada alternativa, según corresponda.

$$\begin{array}{lll} 5.25/36.75 & 0.142857 & A \\ 10.5/36.75 \Rightarrow & 0.285714 & B \\ 21/36.75 & 0.571429 & C \end{array}$$

Este procedimiento se repite (obtener la matriz cuadrada, sumar los elementos de cada fila, dividir esos resultados por la suma de los mismos y obtener los vectores propios) hasta que la diferencia entre los vectores propios de dos procesos consecutivos sea muy pequeña o cero. En este caso, si se repite el proceso, se obtendrá el mismo vector propio.

De esta forma se ha establecido el orden de las prioridades o ponderación de las variables. El orden otorgado a las alternativas o criterios, en función de su preferencia, es C, B, A, para el caso de análisis.

Tras este procedimiento se requiere verificar la consistencia de la evaluación. Para ello, se debe calcular el valor RC, o Relación de Consistencia, el cual debe ser menor a 0.1. En caso contrario, si la relación de consistencia fuera mayor, se haría necesario reevaluar los juicios, es decir, volver a consultar a los expertos. A continuación se detallan las fórmulas para el cálculo del índice:

$$\lambda max = V * B$$

λmax: Es el valor propio de la matriz de comparaciones a pares.
V: Es el vector de prioridades obtenido en el procedimiento anterior.
B: Es una matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones.

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1}$$

Donde:
CI= Índice de Consistencia.
n= Rango de la matriz de comparaciones.
RI= Índice Aleatorio.

Tabla 4. Índices Aleatorios por tamaño de matriz

TAMAÑO DE LA MATRIZ	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INDICE ALEATORIO	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fuente: THOMAS SAATY, 1997. de (CEPAL; ILPES, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planifición Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo, 2008).

2.2.3 El proceso de evaluación

A continuación se resume el proceso que debe surtirse para la evaluación multicriterio:

PROCESO DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

- **Paso 1 - Definición del Grupo de Expertos:** definir el grupo de especialistas que seleccionará los criterios y establecerá las preferencias.
- **Paso 2 - Selección de Criterios:** los criterios deben ser una herramienta para medir los aportes que las alternativas brindan, en la línea con las políticas de movilidad, infraestructura y territorio de la ciudad.
- **Paso 3 - Definición de Indicadores:** definir cómo se medirá cada criterio.
- **Paso 4 - Matrices de comparación de alternativas:** obtener las matrices de comparación de alternativas, una por cada criterio. Son responsabilidad del especialista de cada área.
- **Paso 5 - Cálculo de Ponderadores de cada alternativa - Por criterio:** se aplica el modelo APH y calculan los ponderadores correspondientes a cada alternativa, para cada criterio. En el modelo APH, esto corresponde al cálculo del vector propio, su rango será igual a la cantidad de alternativas evaluadas y en adelante se nombrará como vector propio por criterio. Se obtendrán tantos vectores como criterios haya.
- **Paso 6 - Comprobar consistencia:** verificar el indicador RC del vector propio de cada criterio.
- **Paso 7 - Análisis de indicadores:** se deben construir tablas que permitan definir un valor numérico correlativo al criterio evaluado, por rangos o escalas de 1 a 5, sean cualitativos o cuantitativos. Por ejemplo para el criterio reducción en los tiempos de viaje el valor correlativo 5 puede ser para reducciones mayores a 10 minutos en una red y 1 para reducciones menores a 30 segundos.
- **Paso 8 - Cálculo de los índices:** multiplicar cada indicador normalizado por su correspondiente ponderador.
- **Paso 9 - Establecer Ranking:** ordenar jerárquicamente los índices calculados para cada alternativa o proyecto de mayor a menor. Seleccione o dé preferencia a aquel que obtuvo el mayor valor en la evaluación.
- **Paso 10 - Matriz de comparación de criterios:** calcular la matriz de comparación de criterios para el proyecto. Es responsabilidad de la entidad tomadora de la decisión.
- **Paso 11 - Cálculo de Ponderadores generales de cada criterio:** aplicar el modelo APH y calcule los ponderadores correspondientes a cada criterio para el proyecto en general. En el modelo APH, esto corresponde al cálculo del vector propio, su rango será igual a la cantidad de criterios evaluados y en adelante se nombrará como vector propio del proyecto, y por tanto solo será solo uno.
- **Paso 12 - Comprobar consistencia:** verificar el indicador RC del vector propio del proyecto.
- **Paso 13 - Cálculo de la ponderación y la calificación Global:** la ponderación final de cada alternativa se calculará utilizando el modelo de puntuaciones, mediante la sumatoria de la multiplicación entre el valor que cada criterio obtuvo en la alternativa analizada, y el correspondiente ponderador del criterio en cuestión. Para obtener la calificación, haga uso de los índices por criterio, en lugar de los ponderadores.
- **Paso 14 - Análisis de sensibilidad:** realizar el análisis del comportamiento del ranking establecido frente a cambios en las ponderaciones relativas de los principales criterios. Definir escenarios posibles y comparar con el escenario actual de su evaluación. Establecer bajo qué condiciones la priorización o jerarquización de los proyectos o alternativas evaluadas se mantiene.

2.2.4 Criterios recomendados

Como se ha mencionado, el proceso de EMC requiere de la definición de criterios y preferencias; no obstante, éste será un proceso propio de cada proyecto, en función de las particularidades y necesidades específicas y, será responsabilidad de la entidad tomadora de la decisión de inversión, en conjunto con los especialistas de cada área.

A continuación se expone una lista de posibles criterios, considerando que se seleccionen algunos de ellos para las evaluaciones y teniendo en cuenta que su escogencia debe ser asertiva para obtener resultados próximos a la realidad. Se recomienda escoger el mínimo posible, pues dualidades, repeticiones o cantidades innecesarias dificultarían el proceso sin enriquecimiento alguno.

Cabe mencionar que consecuente con el interés y alcance propuesto para la presente Guía, las cuatro áreas aluden a: diseño geométrico y seguridad vial, urbanismo y paisajismo, tránsito y transporte y presupuesto.

	CRITERIO	EXPLICACIÓN	INDICADOR	ESCALAS DE MEDICIÓN	
Diseño Geométrico y Seguridad Vial	Reducción de la cantidad de conflictos con actores vulnerables	Mide la relación entre los conflictos vehículo-peatón (Cv-p), vehículo-ciclista (Cv-c) y peatón-ciclista (Cp-c) sin proyecto y con proyecto.	$\frac{(C_{v-p}+C_{v-c}+C_{p-c})_{con\ proyecto}}{(C_{v-p}+C_{v-c}+C_{p-c})_{sin\ proyecto}}$	0.0 - 0.3 5 Alto 0.31 - 0.5 4 Medio-Alto 0.51 - 0.6 3 Medio 0.61 - 0.9 2 Medio-Bajo mayor a 0.91 1 Bajo	Si la reducción es mayor, el indicador es cercano a cero y su calificación será más alta.
	Eficiencia en la solución de corrientes de flujo en la intersección	Mide el porcentaje de flujos efectivamente resueltos con la solución, incluyendo los retornos.	$\frac{Movimientos\ Resueltos}{Número\ de\ ramales * Número\ de\ Ramales} * 100$	90.1 - 100 5 Alto 80.1 - 90 4 Medio-Alto 65.1 - 80 3 Medio 50.1 - 65 2 Medio-Bajo menor a 50% 1 Bajo	Entre más eficiente, el porcentaje será más alto y su calificación más alta.
	Exposición a la accidentalidad por presencia de zonas de entrecruzamiento	Mide la cantidad de zonas de entrecruzamiento existentes. Entre menores zonas de entrecruzamiento haya, disminuye la exposición a los conflictos vehículo-vehículo.	Cantidad de zonas de entrecruzamiento	0 5 Alto 1 - 2 4 Medio-Alto 3 3 Medio 4 2 Medio-Bajo mayor a 5 1 Bajo	Menor exposición significa menor cantidad de zonas y calificación más alta.
Tránsito y transporte	Índice de tiempo de viaje	Se refiere al promedio de la relación entre el tiempo de viaje (segundos) y la cantidad de viajes, de todos los pares O-D, en una red o intersección.	$\frac{\sum_{i=0}^{i=n} \frac{tiempo\ de\ viaje_i}{Numero\ de\ viajes\ del\ par\ OD_i}}{n}$ n= total de pares OD a analizar	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto	Entre menor sea el indicador más alta será la calificación, pues o el tiempo es menor, o se atiende mayor cantidad e vehículos.
	Tasa de atención	Indica el rendimiento de la infraestructura (intersección o red) para atender la demanda de la hora de máxima demanda.	$\frac{Vehículos\ en\ la\ red + Demanda\ latente}{Vehículos\ Atendidos}$ Cantidades al finalizar la hora de máxima demanda, al último año de proyección	0.0 - 0.5 5 Alto 0.51 - 0.6 3 Medio mayor a 0.61 1 Bajo	Entre más cercano a cero sea el indicador mayor será el rendimiento de la red y por lo tanto la calificación será más alta.
	Reducción de la demoras Promedio	Mide la relación del valor promedio de las demoras de todos los pares O-D, en una red o intersección, en la situación con proyecto (al último año de proyección) y sin proyecto (Actual).	$\frac{\left(\frac{\sum_{i=0}^{i=n} Demora_i}{n}\right)_{con\ proyecto}}{\left(\frac{\sum_{i=0}^{i=n} Demora_i}{n}\right)_{sinproyecto}}$ n= total de pares OD a analizar	0.0 - 0.3 5 Alto 0.31 - 0.5 4 Medio-Alto 0.51 - 0.6 3 Medio 0.61 - 0.9 2 Medio-Bajo mayor a 0.91 1 Bajo	Si la reducción es mayor, el indicador es cercano a cero y su calificación será más alta.

	CRITERIO	EXPLICACIÓN	INDICADOR	ESCALAS DE MEDICIÓN	
Tránsito y transporte	Nivel de servicio crítico en convergencias, divergencias y entrecruzamientos	Determina el peor nivel de servicio (más cercano a F) entre todos los movimientos de convergencia, divergencia y entrecruzamiento presentes.	Peor Nivel de Servicio del movimiento crítico, al último año de proyección	A 5 Alto B 4 Medio-Alto C 3 Medio D-E 2 Medio-Bajo F 1 Bajo	Entre más cercano a F, será más ineficiente la infraestructura propuesta y por lo tanto la calificación será más baja.
	Indicador de accesibilidad al sistema de transporte	Determina el nivel de integración, conectividad y accesibilidad al sistema de transporte público desde los demás medio: a pie, bicicleta, vehículo particular, taxi.	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto		Entre más estructurada sea la accesibilidad al sistema de etransporte, más alta será la calificación.
Urbanismo	Índice de Espacio Público Ofrecido	Determina la cantidad de m2 de espacio público peatonal y de ciclousuarios (incluyendo zonas duras de circulación, aislamiento y de mobiliario urbano, así como zonas verdes), para la hora de máxima demanda de peatones y ciclistas.	$\left(\frac{m^2\ de\ espacio\ público}{Volumen\ HMD}\right)_{No\ motorizados}$ Cantidades al último año de proyección	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto	Entre más alto sea el indicador más alta será la calificación, pues habrá más área por usuario.
	Nivel de estructuración de la red de espacios públicos	Determina el nivel de integración, conectividad y funcionalidad de las redes peatonales, de ciclistas, mixtas, puntos de encuentro y zonas complementarias.	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto		Entre más estructurada sea la red de espacio público, más alta será la calificación
	Indicador de accesibilidad a personas con movilidad reducida	Determina el nivel de accesibilidad referido a zonas con ancho efectivo de circulación mayor a 2.0 m.	Área de circulación con ancho efectivo de circulación mayor a 2.0 m y condiciones garantizadas para la circulación de personas con movilidad reducida (señalización clara, rampas o ascensores, pendientes y escalones mínimos, barandas)		Entre mayor sea el área accesible, mayor será la calificación.

	CRITERIO	EXPLICACIÓN	INDICADOR	ESCALAS DE MEDICIÓN	
Urbanismo	Indicador de intrusión visual y barreras urbanas	Determina el nivel de impacto visual y efecto barrera derivado del manejo de niveles en la infraestructura vehicular y peatonal.	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto		Entre mayor sea el impacto, más baja será la calificación.
	Pérdida o ganancia de áreas verdes	Determina el área neta de zonas verdes ganadas o pérdidas con el proyecto	*m^2 de suelo instalado - m^2 de suelo retirado* Suelo con revegetalización o empradización.	Debe definirse según las particularidades de cada proyecto	Entre mayor sea el área neta de zonas verdes mayor será la calificación del proyecto
Presupuesto	Indicador de presupuesto	Determina el presupuesto estimado para la construcción del proyecto con base en costos críticos cómo la adquisición predial, los movimientos de tierra, las modificaciones a las redes de servicios públicos, el pavimento, entre otros cuyas cantidades puedan ser estimadas a partir de los esquemas básicos de prefactibilidad o prediseño.	$\frac{Presupuesto\ estimado\ en\ millones\ de\ pesos}{Presupuesto\ disponible}$	Mayor a 1 Bajo Igual a 1 Medio Menor a 1 Alto	Entre mayor sea el indicador mayor será el requerimiento de presupuesto adicional y por lo tanto la calificación será más baja.

En cuanto a las demás áreas, los especialistas deberán generar indicadores en la misma línea de los que aquí se proponen. Aunque se reconoce la importancia de la evaluación de impactos urbanísticos, ambientales y socioeconómicos, entre otros, que en una implantación urbana son relevantes para mejorar el balance en la matriz de ponderación, se reitera que esta Guía tiene como alcance exclusivamente el diseño geométrico de corredores viales, peatonales y para ciclistas, complementado con aspectos básicos del tránsito, la seguridad vial y el tratamiento del espacio público, mobiliario y paisajísmo. Variables de las demás áreas deberán ser tratadas conjuntamente por el IDU y es especialista correspondiente.

Algunos ejemplos se mencionan a continuación:

- Indicador de área de afectación con respecto al número de predios afectados.
- Cantidad de empleos directos generados por la construcción.
- Cantidad de empleos indirectos generados por el proyecto.
- Medición de impactos sobre especies con valor ecológico, comercial y/o cultual.
- Medición de impactos sociales en el entorno.
- Niveles de ruido generados por el proyecto.
- Áreas de oportunidad.

Cabe aclarar que los indicadores que deriven directamente en un aumento o reducción de la complejidad y por consiguiente de los costos del proyecto, como la cantidad y tipo de predios a adquirir, los movimientos de tierra, el impacto en redes de servicios públicos, las obras estructurales, geotécnicas e hidráulicas, entre otros, serán incluidas solamente como indicadores del área de presupuesto, para no duplicar los criterios a calificar.

Cabe anotar que la aplicación de los métodos y criterios que acá se recomiendan, dependen de la calidad de los esquemas básicos de diseño (para prefactibilidad) y los prediseños (para factibilidad), ya que la determinación y medición de los indicadores está directamente relacionada con la existencia de planos autoexplicativos, completos y debidamente organizados. Para tal fin, en el Capítulo 5, se exponen los requerimientos y términos de referencia a considerar en este sentido.

Finalmente, se resalta que la implantación de un proyecto vial en el entorno urbano existente, debe armonizar la nueva infraestructura con el urbanismo del sector y sacar mejor provecho de las inversiones en materia vial, consolidando una respuesta urbana de cara al trazado vial. Por lo tanto, en estos casos, los aspectos de índole urbanística deberán tener un peso considerable.

3. ANÁLISIS DE RIESGOS

Una vez el proyecto ha superado la EMC, el diseño escogido, antes de iniciar la fase de diseño definitivo, debe ser sometido a una evaluación de riesgos que permita identificar la posible ocurrencia de eventos positivos o negativos que puedan afectar la implementación del mismo. No

obstante, si la entidad encargada lo considera necesario, la evaluación de riesgos puede llevarse a cabo, también, en las fases anteriores.

El análisis de riesgo podrá solicitarse para cualquiera de las áreas del proyecto, sin desconocer la importancia del análisis de riesgos ambientales y socioeconómicos, y el análisis de riesgos de seguridad vial.

Existen múltiples metodologías para la evaluación del riesgo de un proyecto, las cuales comparten la idea de que *el riesgo se puede describir como el resultado de una "convolución", entendida como un operador matemático que transforma dos funciones f y g en una tercera función h, donde f puede constituirse como la amenaza o probabilidad de que un evento ocurra con cierto grado de peligrosidad, g la vulnerabilidad o grado de pérdida probable en la ocurrencia de un evento, y h el riesgo o grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular en función de la amenaza y la vulnerabilidad* (Rodríguez Espinosa & Alegría Velasco, 2011). Así, el riesgo o pérdida esperada puede calcularse como un costo o como una variable cualitativa que relacione las siguientes variables en función tanto de las amenazas como de las vulnerabilidades presentes:

- Exposición: se refiere a la distribución y cantidad de aquello potencialmente afectable.
- Impacto: magnitud de los efectos producidos tras la ocurrencia de un evento de referencia.
- Peligrosidad: la suma de la amenaza dada por el nivel de exposición y la amenaza estimada desde el impacto de un evento de referencia, determinan el grado de peligrosidad.
- Probabilidad de ocurrencia: es una frecuencia relativa que indica el nivel de certeza de que el evento ocurra.

La definición de la función de riesgo depende del área que se esté evaluando y de las variables que se incorporen al modelo. En general la función para el cálculo del riesgo es (basado en Rodríguez Espinosa & Alegría Velasco, 2011):

$$\sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} A_i * V_j$$

Dónde:
A= Amenaza
V= Vulnerabilidad
m = Cantidad total de variables de vulnerabilidad
n = Cantidad total de variables de amenaza

Los valores obtenidos pueden expresarse de manera cualitativa usando escalas de valores, o bien como un porcentaje, como una función de probabilidad, o referido a un costo, según el modelo que se diseñe. Las escalas cualitativas suelen ser útiles en el nivel de análisis que se requiere para un proyecto vial, pues a través de niveles de tolerancia alto, medio o bajo, o mapas colorimétricos que facilita identificar el impacto y definir la prioridad del tratamiento.

Tabla 5 Ejemplos de calificación del riesgo y su tolerancia

Riesgo	∑A x V	Color
Bajo	<30%	TOLERABLE
Medio	>=30% a <70%	MEDIO
Alto	>=70%	INTOLERABLE

	Impacto	Bajo	Medio	Alto
Probabilidad	Alto	3	6	9
	Medio	2	4	6
	Bajo	1	2	3

Fuente: Arriba (Rodríguez Espinosa & Alegría Velasco, 2011), abajo (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011).

De acuerdo con las metodologías establecidas por el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2011), *se precisa que los eventos calificados en rojo deben ser evaluados para tomar las siguientes acciones en la etapa de diseño:*

1. Mitigar el Riesgo: para lo cual se toman medidas conducentes a reducir la probabilidad de ocurrencia del mismo.
2. Transferencia del Riesgo: mediante esta acción se transfiere el riesgo a un tercero pagando una prima a la compañía de seguros.
3. Asumir el Riesgo: se acepta que si el evento ocurre, se asumen las consecuencias del mismo.
4. Eliminar el Riesgo: para esta acción hay que eliminar la condición o evento.

Finalmente debe tenerse en cuenta que el análisis de riesgo es iterativo, es decir una vez identificada una acción o medida para mitigar, transferir, asumir, o eliminar el riesgo, se genera un riesgo residual, el cual debe ser evaluado nuevamente.

3.1 ANÁLISIS DE RIESGO EN AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

Específicamente en relación con el proyecto de diseño vial, urbanístico y paisajístico, es importante que se realicen Auditorías de Seguridad Vial ASV, (véase definición y alcances en Capítulo 1), llevadas a cabo por consultores diferentes al diseñador del proyecto, para mantener la imparcialidad que requiere el proceso. En el desarrollo de la auditoría al diseño, es aconsejable aplicar una metodología de evaluación del riesgo, en donde los eventos que puedan llevar a producir accidentes o cuasi accidentes sean definidos a partir de los conflictos entre actores viales, para cada línea de flujo.

De esta manera, la metodología para la ejecución de la ASV partiría de encontrar los conflictos probables sobre los planos de prefactibilidad, factibilidad o diseño definitivo, identificando las deficiencias geométricas, principalmente en zonas de cruce, convergencia, divergencia y entrecruzamiento, por ser estas las más expuestas a la accidentalidad, y complementando los

hallazgos con otros asociados al cumplimiento de normas y criterios de seguridad en el resto de la infraestructura (Rodríguez Espinosa & Alegría Velasco, 2011).

La aplicación de la evaluación del riesgo en ASV´s permite que se supere la barrera de lo subjetivo y se consoliden mecanismos que admitan medir el impacto de los hallazgos, comprometer la puesta en práctica de las recomendaciones y verificar el efectivo cumplimiento y la reducción de los índices de accidentalidad.

4. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO BÁSICOS

4.2 VEHÍCULO DE DISEÑO

En la selección del vehículo de diseño se debe considerar el tipo de vehículo con las mayores exigencias, que posiblemente hará uso de la infraestructura vial con una frecuencia importante (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011). Al respecto, se debe contar con información sobre la composición vehicular típica del elemento vial objeto de diseño, la clasificación funcional de la vía y los usos del suelo en que se enmarca el proyecto; lo anterior con el fin de considerar el vehículo tipo que condicione los aspectos más críticos en el diseño geométrico.

El proceso de selección del vehículo de diseño parte de un análisis por niveles que incluye identificar el tipo de vehículo según sea la jerarquía funcional de la vía, el uso del suelo, el patrón de composición vehicular y condiciones especiales así como el manejo operacional de suministros y servicios (vehículos de reparto, recolección de basuras, bomberos entre otros).

Figura 2. Variables influyentes en la selección del vehículo de diseño



Fuente: Elaboración Propia

4.1.1 Clasificación y tipologías

Los vehículos de diseño son los automotores más representativos en el tránsito existente o proyectado, los cuales se caracterizan porque demandan mayores exigencias respecto a la configuración geométrica de las vías en función de sus dimensiones y sus trayectorias en maniobras

y recorridos. La selección de este parámetro de diseño pretende tipificar algunas dimensiones y características asociadas con radios de giro y sobreanchos, pero sobretodo realizar diseños coherentes y racionales frente a las trayectorias vehiculares reales, que permitan ajustar y racionalizar los diseños, sin que se admitan maniobras forzadas, utilización insegura del espacio disponible y conflictos vehículo-vehículo, o que por el contrario impida sobredimensionamientos que generen sobrecostos al proyecto.

De acuerdo con lo anterior y para efectos de esta Guía, los vehículos de diseño se clasifican en cinco (5) clases, en consideración a sus características generales y su impacto en el diseño geométrico de la infraestructura vial. A continuación se presenta la tipología y la descripción de cada una de las clases de vehículos de diseño:

Vehículos Livianos (V.L): este grupo de vehículos hace referencia principalmente a automóviles convencionales de dos ejes simples, con sistema de rueda simple, cuyas trayectorias no inciden drásticamente en la configuración geométrica de la infraestructura vial. También se incluyen en este grupo a las motocicletas, las cuales se consideran un vehículo de diseño fundamental en temas como el diseño de elementos de contención vehicular, que requieren dimensionamientos especiales cuando el porcentaje de motos es alto (mayor al 5%); o en otro tipo de diseños como los carriles exclusivos para motocicletas, los cuales no hacen parte del alcance de esta Guía, pues el estado del arte en el tema requiere de estudios puntuales para el caso de Bogotá D.C que lleven a afirmaciones y recomendaciones sólidas y sustentables.

Vehículos Pesados (V.P): dentro de los vehículos pesados se incluye a los automotores de carga, específicamente a los tractocamiones. Para el caso del diseño geométrico, la configuración tipo simple, tándem o triple no es incidente como sí lo es, a nivel de tránsito y pavimentos. En el caso del diseño geométrico, independientemente de las tipologías C2-S2, C3-S1, C3-S2 y C3-S3, las variables influyentes son la longitud total del vehículo y la distancia entre ejes pues de estas se deriva la fórmula del sobreancho como se verá más adelante. Por tal motivo la nomenclatura otorgada a cada tipo de vehículo pesado corresponde solamente al nombre del vehículo según la Aashto, seguido de la longitud total en metros, p.e. WB-12, se refiere a un tracto-camión de 12 m de longitud y no a la nomenclatura tipo INVIAS.

Vehículo de Emergencia (V.E): en este rango figuran los vehículos de bomberos y las ambulancias, siendo el primero el más exigente. Así, por la distancia entre ejes esta categoría se asimila a un camión C2-G de 9.15 m de longitud total. Es importante tener en cuenta que esta tipología no solo condiciona radios de giro y sobreanchos sino que además genera exigencias de circulación a mayores velocidades y con accesibilidad expedita. Es así como en cercanías a clínicas, hospitales, centros de acopio, y en general zonas dotacionales y de servicios, debe garantizarse no solo que la geometría vial esté acorde con las trayectorias de estos vehículos sino que, además, la circulación sea ágil, los accesos funcionales, y genere conflictos mínimos con el tráfico de paso.

Vehículo Proveedores y de Servicios (V.S): en este grupo se incluyen vehículos prestadores de servicios como el transporte de agua, repartición de mercancías o recolección de basura, entre

otros, los cuales habitualmente transitan en todos los tipos de vía y por tanto deben ser tenidos en cuenta al momento del diseño geométrico para garantizar su circulación. En algunos casos, este tipo de vehículo puede considerarse con ciertas restricciones en la circulación, en especial para redes viales de orden local, no obstante mientras sea posible, su acceso debe garantizarse de forma cómoda y segura a través del diseño geométrico de la infraestructura. Este tipo de vehículos se asimila a un camión C2-G de 9.15 m de longitud total.

Vehículos Transporte de Pasajeros (V.T): incluye los vehículos de transporte utilizados en Bogotá en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público, conocidos como microbús, buseta, busetón, padrón, articulado y biarticulado. Si se trata de corredores exclusivos, patios, portales o estaciones en los que haya presencia de dos o más tipos, deberá escogerse como vehículo de diseño al más crítico de ellos en términos geométricos. La nomenclatura para este grupo se define como nombre del bus – capacidad de pasajeros – longitud total en metros.

Nota: La anterior clasificación exige que la circulación de buses escolares en vías locales se restrinja cuando sus dimensiones de carrocería sean atípicas o sobrepasen las exigencias del bus de diseño (de pasajeros).

Como se mencionó, la selección del vehículo de diseño involucra distintas variables ligadas a la composición vehicular existente o proyectada, la clasificación funcional de las vías a diseñar, la vocación de transporte en cada corredor y las áreas de actividad presentes. Por lo anterior, el primer paso en la definición del o los vehículos de diseño del proyecto es seleccionar un conjunto de tipologías probables, entre las cuales posteriormente se identificará la más crítica para cada corriente vehicular.



PASO 1: SELECCIONAR UN CONJUNTO DE VEHÍCULOS DE DISEÑO QUE PUEDEN INCIDIR EN EL PROYECTO VIAL

- **Existen 4 condiciones que deben tenerse en cuenta simultáneamente para la selección del vehículo de diseño: Jerarquía funcional, composición vehicular, vocación del transporte y área de actividad.**
- **Un mismo proyecto urbano puede incluir varias jerarquías viales, así como diferentes áreas de actividad. La identificación de estas condiciones permite la sectorización del proyecto para poder asignar un vehículo de diseño por corriente de tráfico.**
- **Para la selección del conjunto de vehículos de diseño probables del proyecto puede usarse la siguiente tabla: Tipos de Vehículos de Diseño.**
- **Para una misma condición pueden sugerirse varios tipos de vehículos, por ejemplo, en corredores de carga o zonas industriales se incluyen todos los vehículos de carga, mientras que la selección entre el WB-12, WB-15 o WB-19, deberá apoyarse en los análisis de composición vehicular existentes y proyectados, para participaciones mayores al 2% sobre la demanda total.**
- **Las condiciones de jerarquía funcional, vocación de transporte y área de actividad no son excluyentes, por lo tanto una arterial principal podría ser a la vez red de transporte de carga y localizarse en zona dotacional. En este sentido, la selección del vehículo de diseño final se realizará escogiendo siempre el vehículo más exigente en términos de sus trayectorias.**

A continuación se presenta una tabla en la cual se sugieren tipos de vehículo de diseño para diferentes condiciones:

Tabla 6. Tipos de vehículos de diseño

CONDICIÓN	TIPO DE VEHICULO DE DISEÑO										
	V.L	V.P			V.S-V.E	V.T.					
	"Auto (PM-5.79M)"	"CAMIÓN (WB-12M)"	"CAMIÓN (WB-15M)"	"CAMIÓN (WB-19M)"	"CAMIÓN C2 - G (SUM - 9.15 M)"	"MICROBUS (19 PAS - 6.28 M)"	"BUSETA (40 PAS - 7.59 M)"	"BUSETÓN (50 PAS - 8.42 M)"	"PADRON (80 PAS - 12.25 M)"	"ARTICULADO (160 PAS - 18.29 M)"	"BIARTICULADO (240 PAS - 27.57 M)"
JERARQUÍA FUNCIONAL											
ARTERIALES PRINCIPALES					●						
Autopistas Urbanas					●						
Vías Rápidas Urbanas					●						
Vías Arterias Convencionales					●						
VÍAS COMPLEMENTARIAS					●						
VÍAS INTERMEDIAS					●						
VIAS LOCALES *	●				●						
VOCACIÓN DE TRANSPORTE											
RED DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO *										●	●
RED DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO *						●	●	●	●		
RED DE TRANSPORTE DE CARGA *		●	●	●	●						
ÁREA DE ACTIVIDAD											
Residencial *	●				●						
Dotacional					●						
Comercio y Servicios *		●			●						
Central *	●				●						
Integral					●						
Industrial *		●	●	●							
Minera *		●	●	●							

V.L: Vehículos Liviano - V.P: Vehículos Pesados - VS-VE: Vehículos Proveedores y de Servicios y Vehículos de Emergencia - V.T: Vehículos de Transporte.
Lon números entre paréntesis corresponden a la longitud total del vehículo.

* Cuando una condición acepte diferentes tipos de vehículos de diseño se escogerá el más exigente en función de la composición vehicular registrada y/o de acuerdo con el tránsito desarrollado o atraído.

** Cuando un tramo vial, una calzada o una zona del proyecto presente diferentes tipos de vehículos de diseño por jerarquía funcional, vocación de transporte o área de actividad, se escogerá el más crítico.

*** Un solo proyecto podría tener varios vehículos de diseño, por vías, calzadas, tramos, intersecciones, etc. Debe presentarse la debida justificación.

Cabe anotar que a nivel urbano, un solo proyecto vial puede tener varios vehículos de diseño. Por ejemplo, en el diseño de una Autopista Urbana, pueden existir calzadas con vocación de

transporte público en las cuales se diseñará con alguno de los buses descritos; por su parte las calzadas rápidas podrán servir al tránsito particular y al tránsito de carga, mientras que las calzadas de servicio tendrían como requerimiento básico la tipología de vehículos proveedores. Así, en este caso se requería la selección de un vehículo de diseño para cada una de estas corrientes vehiculares: un bus articulado para las calzadas de transporte masivo, un tracto-camión para las vías rápidas, y un vehículo proveedor para las calzadas lentas. Esta determinación se consigue estimando cuál es el más crítico, a nivel geométrico en cada caso y corroborando la decisión frente a los análisis de composición vehicular existente y proyectada.

La selección de los vehículos de diseño de los elementos de las intersecciones, como orejas y rampas, dependerá de la corriente vehicular a la cual se conecte.

R

PASO 2: DEL CONJUNTO DE VEHÍCULOS SELECCIONADOS EN EL PASO 1 DEBE DETERMINARSE EL MÁS EXIGENTE DE ELLOS

- **La selección del vehículo de diseño se asocia con la trayectoria crítica o más exigente, la cual está vinculada al concepto de sobreancho de las curvas.**
- **El sobreancho depende fundamentalmente de la saliente frontal del vehículo, la distancia entre ejes y la trayectoria de las ruedas traseras.**

4.1.2 Elementos geométricos de los vehículos de diseño

La Tabla 6 muestra los valores geométricos más relevantes de los diferentes vehículos de diseño, requeridos para el cálculo de los sobreanchos. Nótese, cómo la tabla en ningún caso muestra un radio mínimo de giro para cada tipo de vehículo, ya que este es un concepto que se ha tergiversado y que no aplica para el diseño geométrico urbano. El único concepto a considerar será el de la ocupación vehicular, el cual involucra además de las variables geométricas del vehículo de diseño (saliente frontal del vehículo, distancia entre ejes y la trayectoria de las ruedas traseras), la velocidad de circulación, el radio mínimo de giro y el ancho máximo requerido para la maniobra segura.

Tabla 7. Dimensiones vehículo de diseño

CLASE DE VEHÍCULO	CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO								
	NOMBRE	ANCHO (m)	LARGO (m)	VOLADIZO DELANTERO (m)	VOLADIZO TRASERO (m)	DISTANCIA ENTRE EJES (m)		ÁNGULO MAX DIRECCIÓN 90°	ÁNGULO MAX DIRECCIÓN 180°
Vehículos Livianos	PM	2,13	5,79	0,91	1,53	3,35		29.5°	31.5°
Vehículos Pesados	WB-12	2,44	13,87	0,91	1,38	3.81 *	7.77 **	20.1°	20.3°
	WB-15	2,59	16,76	0,91	1,22	3.81 *	10.82 **	17.6°	17.7°
	WB-19	2,59	20,89	1,22	1,38	5.95 *	12.34 **	27.0°	28.4°
Vehículos de Emergencias, Servicios y Proveedores	CAMIÓN C2	2,44	9,15	1,22	1,83	14,35		29.6°	31.7°
Vehículos de Transporte de Pasajeros	MICROBUS	2,03	6,28	1,35	1,94	8,35		28.3°	30.0°
	BUSETA	2,35	7,59	1,30	2,47	9,35		28.3°	30.0°
	BUSETON	2,35	8,42	1,30	2,62	10,35		28.3°	30.0°
	PADRON	2,50	12,25	2,45	3,85	11,35		28.3°	29.9°
	ARTICULADO	2,55	17,99	N. A.	N. A.	12,35		36.0°	40.9°
	BI-ARTICULADO	2,50	27,56	N. A.	N. A.	13,35		32.5°	35.7°

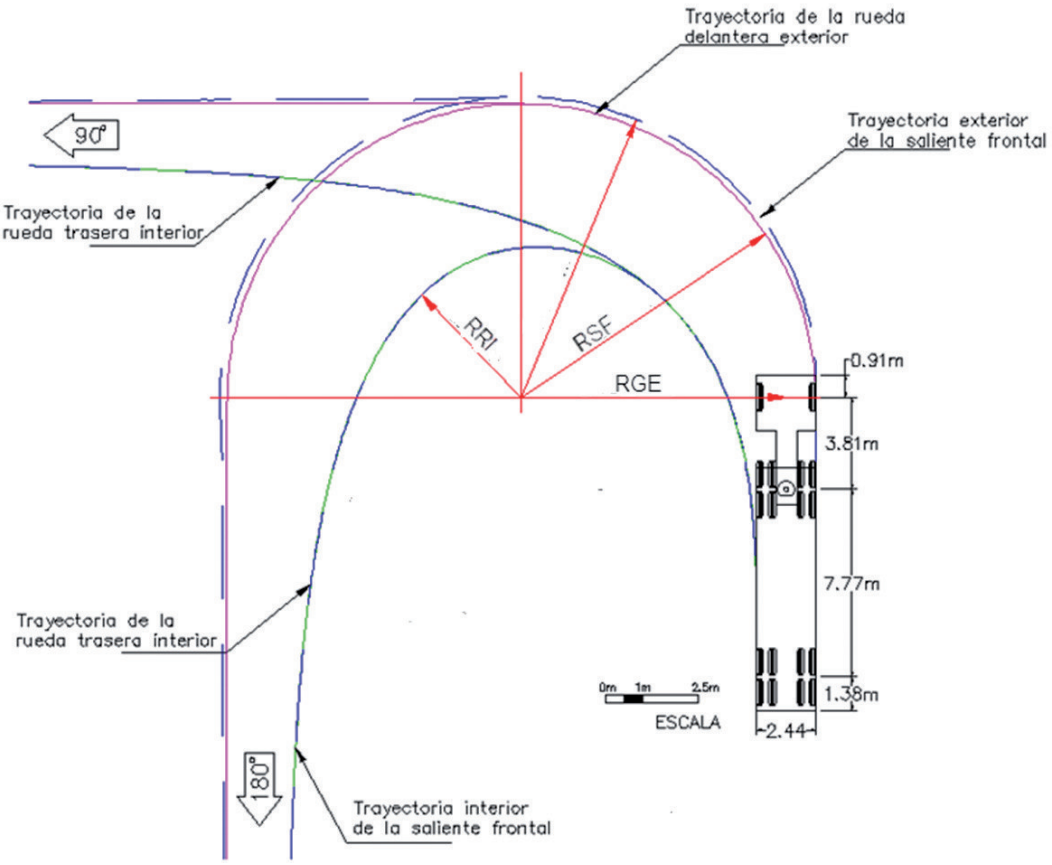
*Dimensión entre primer y segundo eje tándem.

** Dimensión entre el segundo y el tercer eje tándem.

4.1.3 Trayectorias mínimas de diseño

La selección del vehículo de diseño no se realiza de cara a la estimación solo de un radio mínimo, sino a la configuración de una trayectoria de diseño. Las dimensiones principales que afectan el diseño son: el mínimo Radio de Giro en el Eje vehicular (RGE), el ancho de calzada en el inicio de la curva, la distancia entre ejes y la trayectoria de la rueda trasera interior (Basado en American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011). Así, los límites de las trayectorias de giro de cada vehículo de diseño se establecen a partir de la traza exterior de la saliente frontal (RSF) y el recorrido de la rueda trasera interior (RRI).

Figura 3. Trayectoria vehicular



Fuente: Elaboración propia con base en Autoturn 7.0

Para la estimación de las trayectorias de giro, se asume que la traza exterior de la saliente frontal sigue un arco circular definido por el mínimo Radio de Giro en el Eje vehicular (RGE), el cual es determinado con base en el mecanismo de dirección del automotor. Los valores de RGE y los radios mínimos de giro sobre las trayectorias exteriores e interior del vehículo se muestran en la Tabla 7.

Tabla 8. Radios de giro mínimos en las trayectorias vehiculares (en metros)

	Auto (PM-5.79M)	TRACTO CAMIÓN (WB-12M)	TRACTO CAMIÓN (WB-15M)	TRACTO CAMIÓN (WB-19M)	CAMIÓN C2 - G (SUM - 9.15 M)	MICROBUS (19 PAS - 6.28 M)	BUSETA (40 PAS - 7.59 M)	BUSETÓN (50 PAS - 8.42 M)	PADRON (80 PAS - 12.20M)	ARTICULADO (160 PAS - 18.29 M)	BIARTICULADO (240 PAS - 27.57 M)
Radio Mínimo de Giro en el Eje vehicular	6.39	10.98	12.53	12.61	11.58	5.98	7.64	9.00	11.90	8.69	10.81
Radio mínimo en la trayectoria exterior de la saliente frontal	7.74	12.43	13.97	14.15	13.20	7.48	9.26	10.61	14.10	11.18	13.20
Radio mínimo en la trayectoria de la rueda trasera interior	4.53	5.89	6.23	2.55	8.83	4.16	5.44	6.62	9.06	3.51	

Nota: Trayectorias modeladas con Autoturn 7.0 – Opción Path

Fuente: Elaboración propia con base en Autoturn 7.0

Del análisis de la tabla anterior, comparado con las plantillas o trayectorias dispuestas más adelante, es posible deducir, por ejemplo, que entre mayor sea la diferencia entre el radio mínimo en la trayectoria exterior de la saliente frontal y el radio mínimo en la trayectoria de la rueda trasera interior, mayor será el ancho requerido a la salida del giro, lo que, por ejemplo, en retornos significa un mayor disloque en la espiral de salida (Véase Capítulo 3 – Usos especiales de concatenaciones y Capítulo 4 - Retornos).

Adicionalmente, estos valores mínimos de ocupación, deben incrementarse en función de aislamientos de seguridad, como la distancia transversal entre vehículos y entre la trayectoria y el borde de calzada, las cuales se recomiendan por seguridad vial, entre 0.6-0.9 y 0.45-0.6, respectivamente.

4.1.4 Cálculo de sobreanchos

Con base en los datos anteriores y otros valores requeridos, es posible calcular el sobreancho. Cuando un vehículo circula por una curva horizontal, el ancho de calzada que ocupa es mayor que en el tramo recto: ello se debe a que las ruedas traseras internas del vehículo siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras externas. Así, con el fin de facilitar la operación de los vehículos en curvas y evitar invasión de los carriles adyacentes, el ancho de calzada debe aumentarse hasta alcanzar un valor máximo requerido, conocido como sobreancho (Carciente, 1980). Será necesario, entonces, evaluar la exigencia geométrica en la transición desde el tramo recto hasta la zona de sobreancho máximo calculado, para lo cual se tendrá como guía las trayectorias simuladas con software especializado.

El ancho de calzada en curva, Wc, de una vía de dos carriles debe ser (Carciente, 1980):

$$W_C = 2(U + C) + F_A + Z$$

Siendo
U= Ancho ocupado por el vehículo en la curva.
C= Separación lateral entre vehículos.
F_A= Saliente frontal del vehículo.
Z= Factor de Seguridad.

Entonces, el sobreancho o diferencia entre el ancho de calzada en la curva, Wc y en la tangente, W_t será:

$$W = W_C - W_t$$

Y las demás variables se calculan como sigue:

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R$$

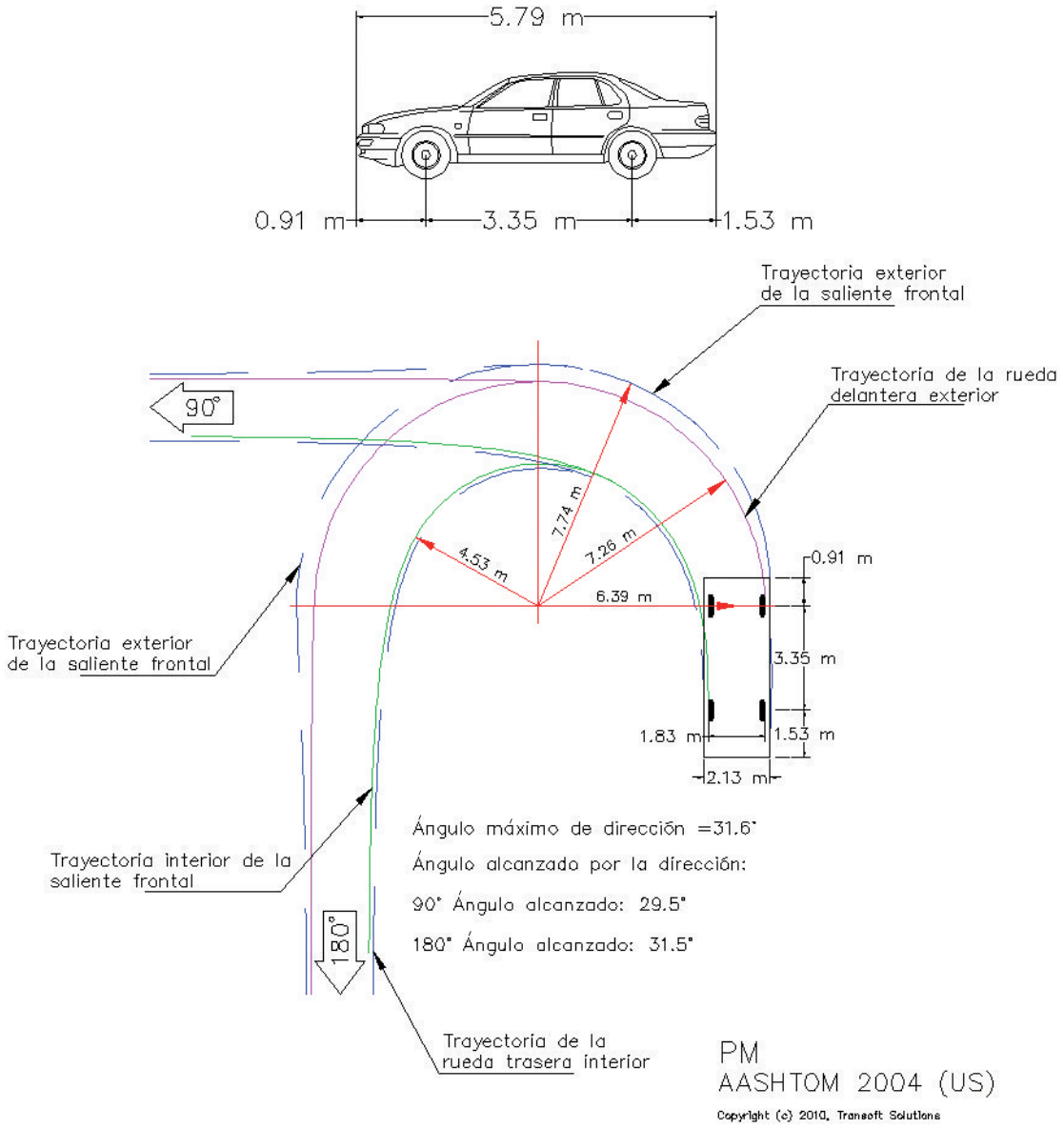
$$Z = \frac{0.1V}{\sqrt{R}}$$

Donde,
u= Ancho del vehículo sin espejos (m)
R= Ancho de la curva en el eje (m)
L= Distancia entre ejes del vehículo (m)
A= Saliente sobre el eje delantero (m)
V= velocidad específica de la curva (Km/h)

El valor de C está relacionado con la diferencia entre el ancho del vehículo y el ancho de la calzada. Por seguridad vial se recomienda que la separación entre vehículos sea de 0.6 m mínimo, para velocidades menores a 60 km y hasta 0.90 m para velocidades mayores.

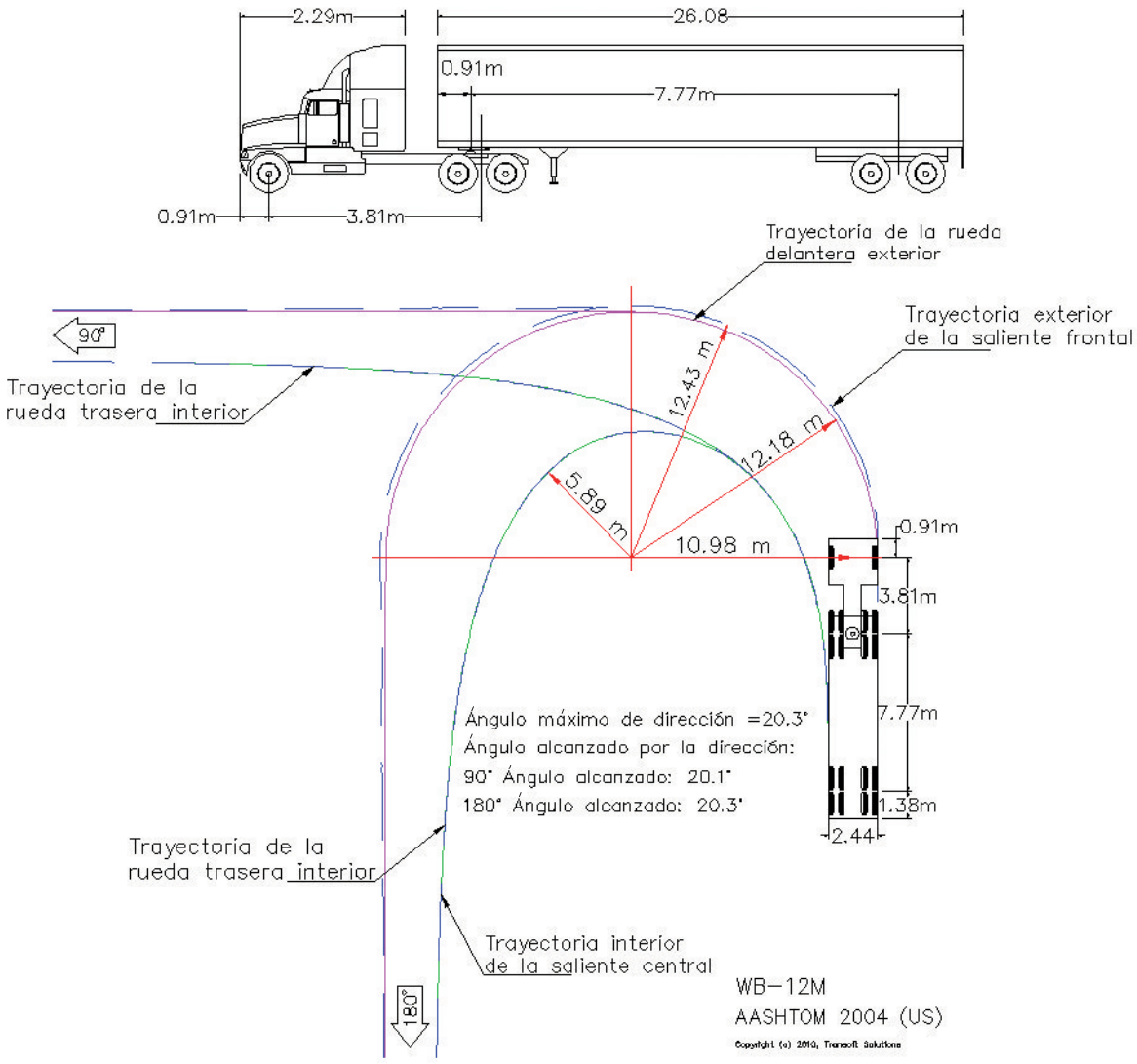
A continuación se presentan las plantillas modeladas con Autoturn 7.0, las cuales pueden dar una idea al diseñador de la geometría a considerar para giros a 90º en esquinas o giros de 180º en retornos. Estos esquemas contienen información relevante del vehículo como su ancho, largo y medidas entre ejes, además de acotar las medidas mínimas de la trayectoria de diseño.

Figura 4. Trayectoria vehículo PM-5.79



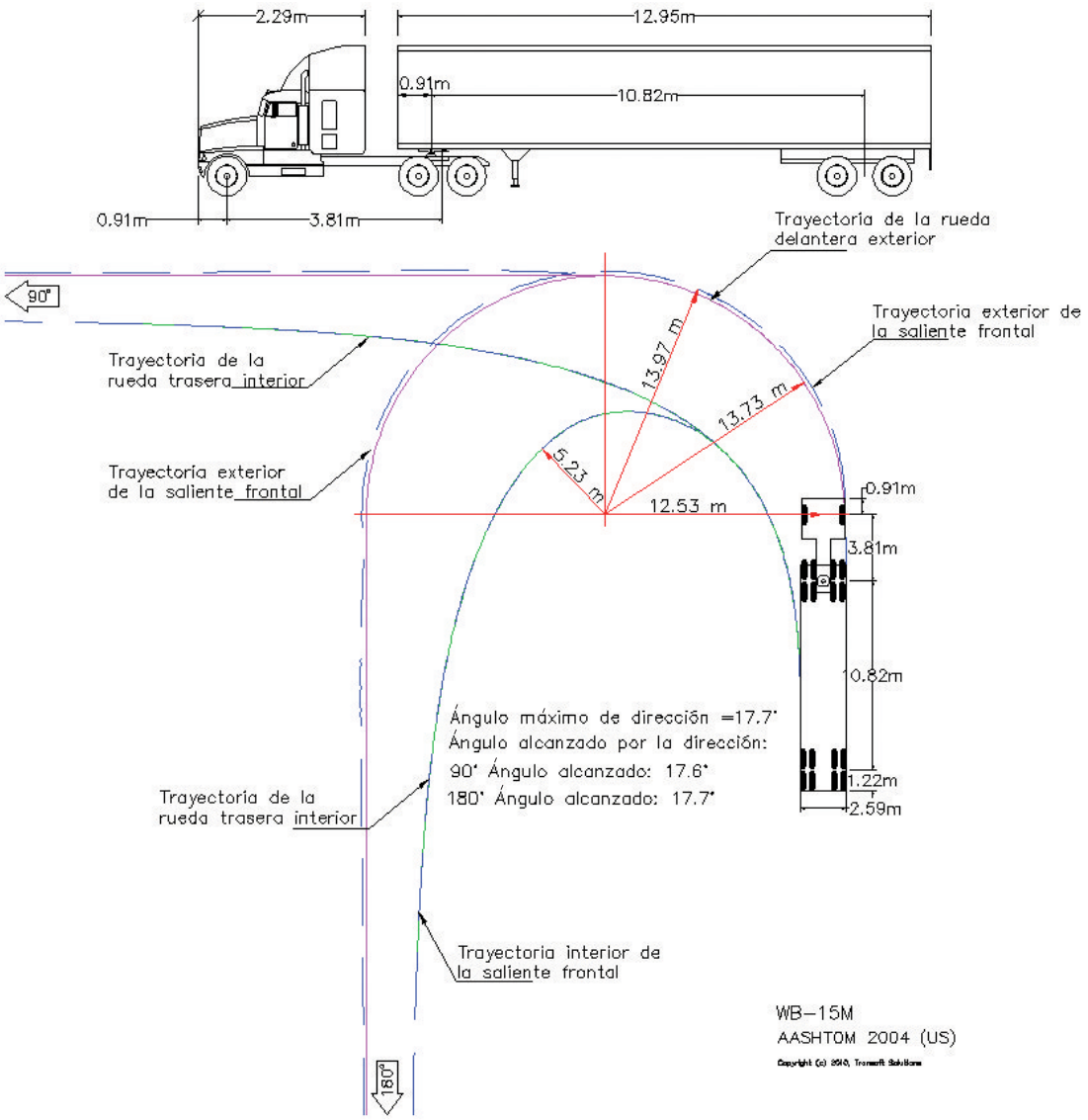
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 5. Trayectoria vehículo WB-12M



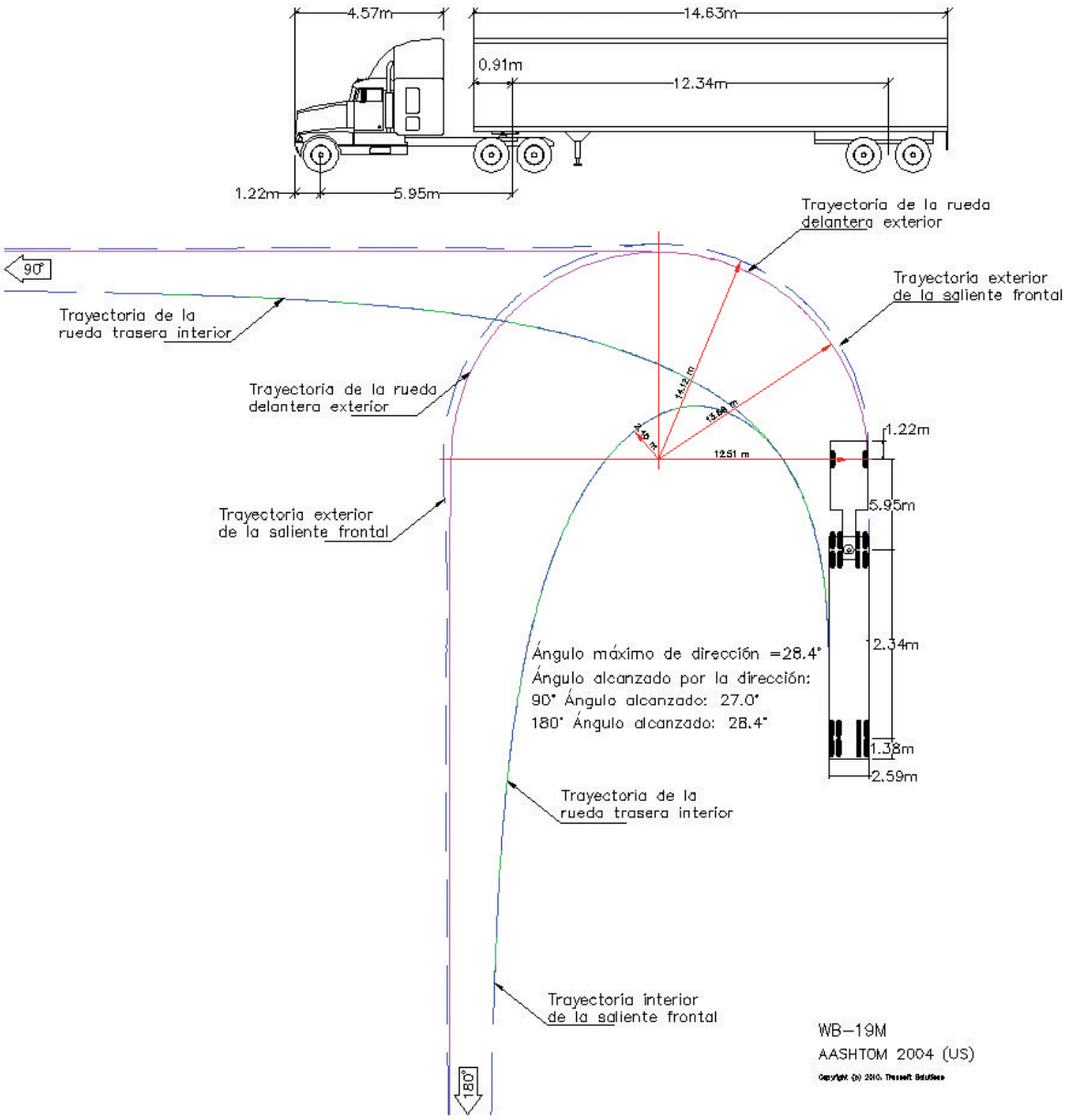
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 6. Trayectoria vehículo WB-15M



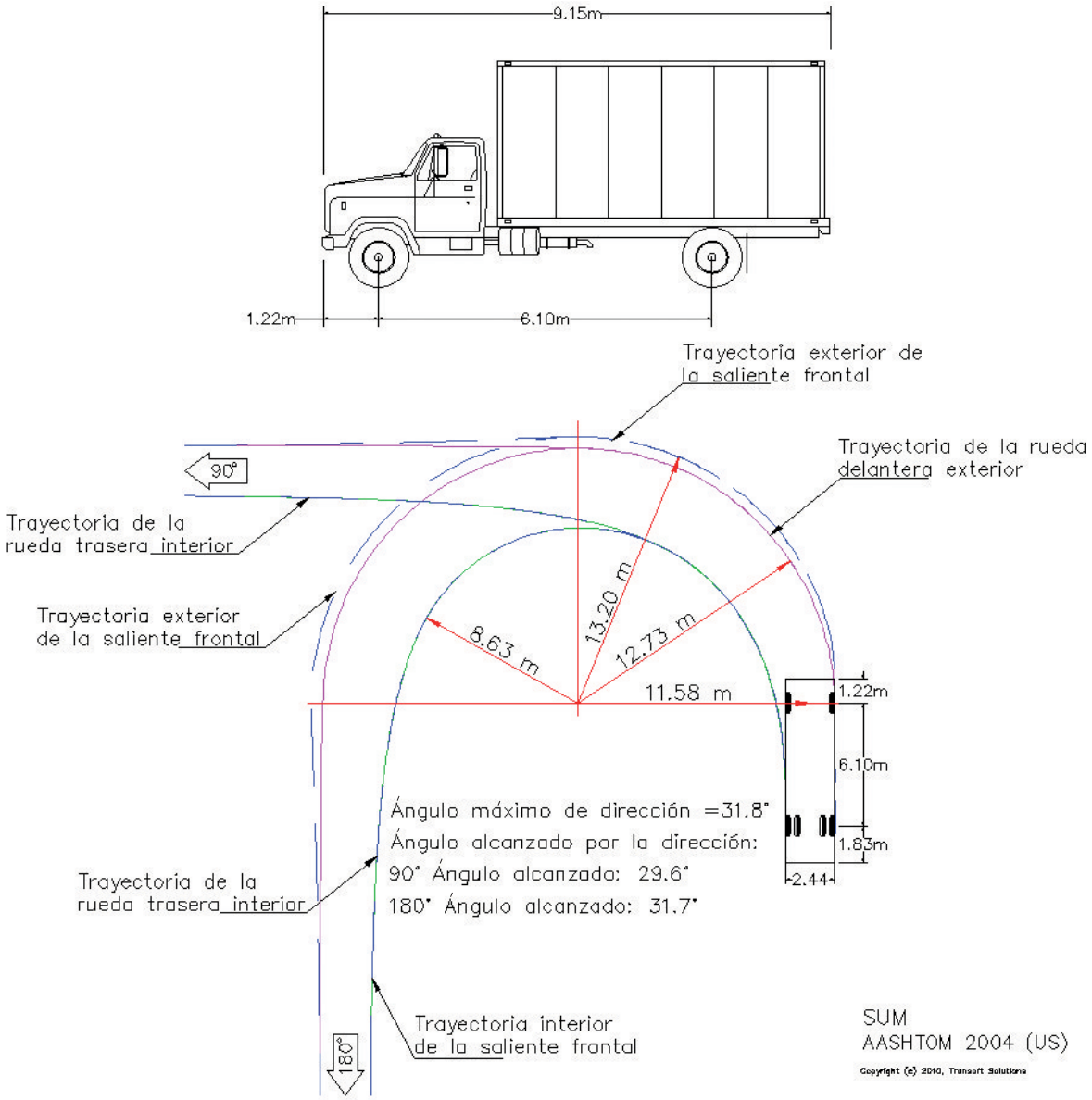
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 7. Trayectoria vehículo WB-19M



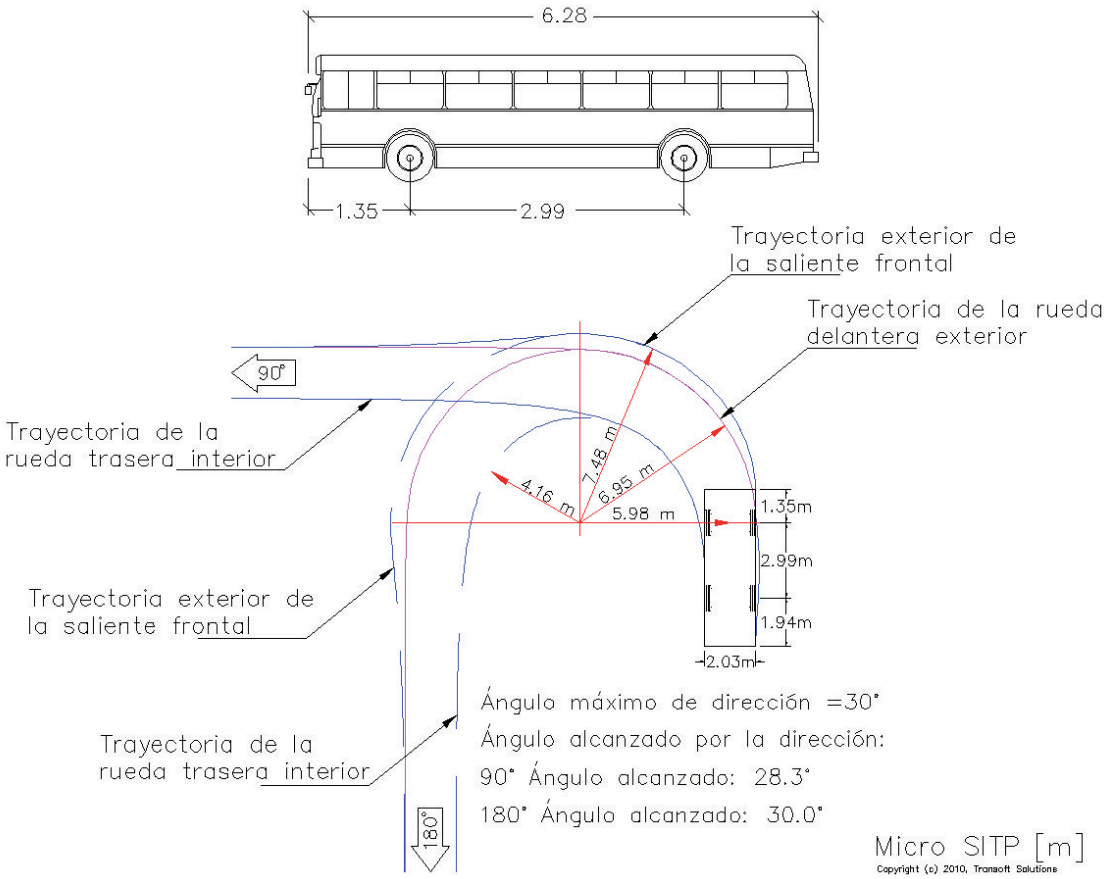
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 8. Trayectoria vehículo SUM (C2)



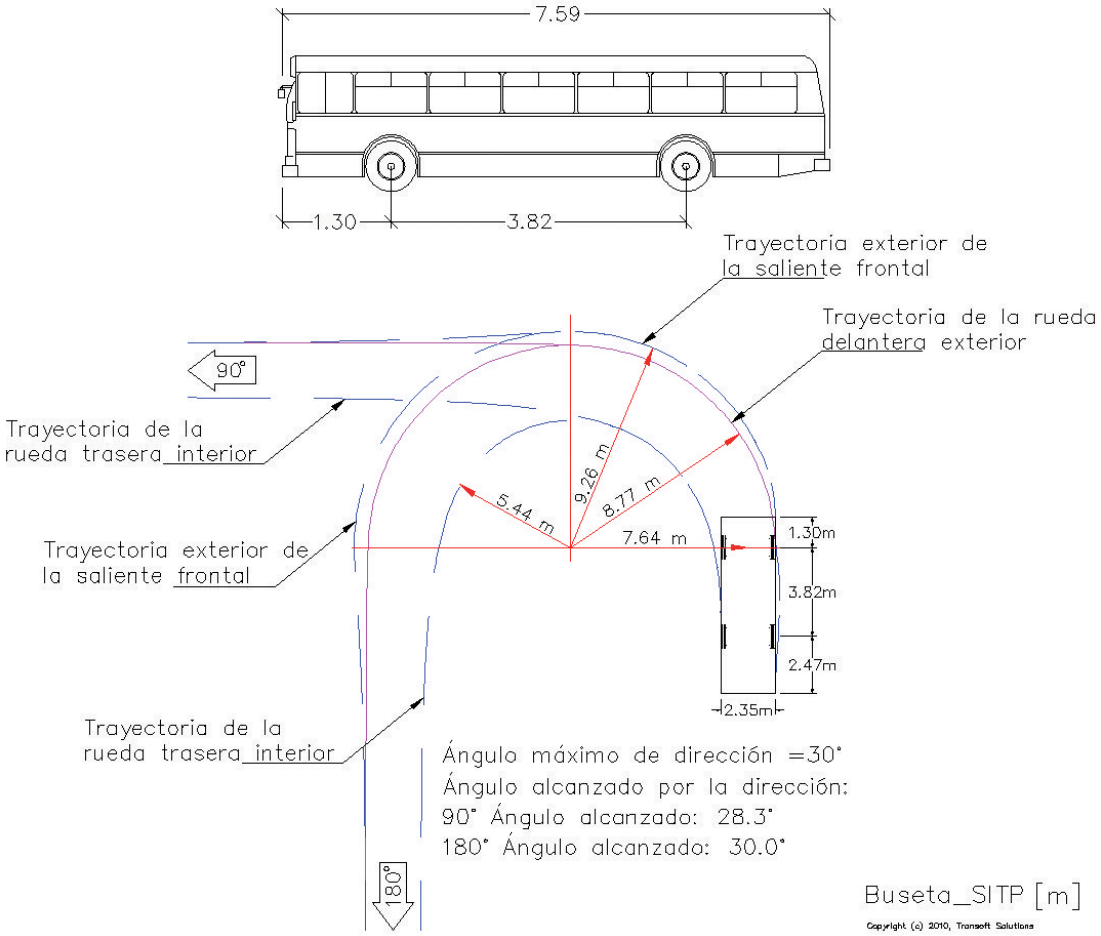
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 9. Trayectoria vehículo MICROBUS – 19 PAS -6.28



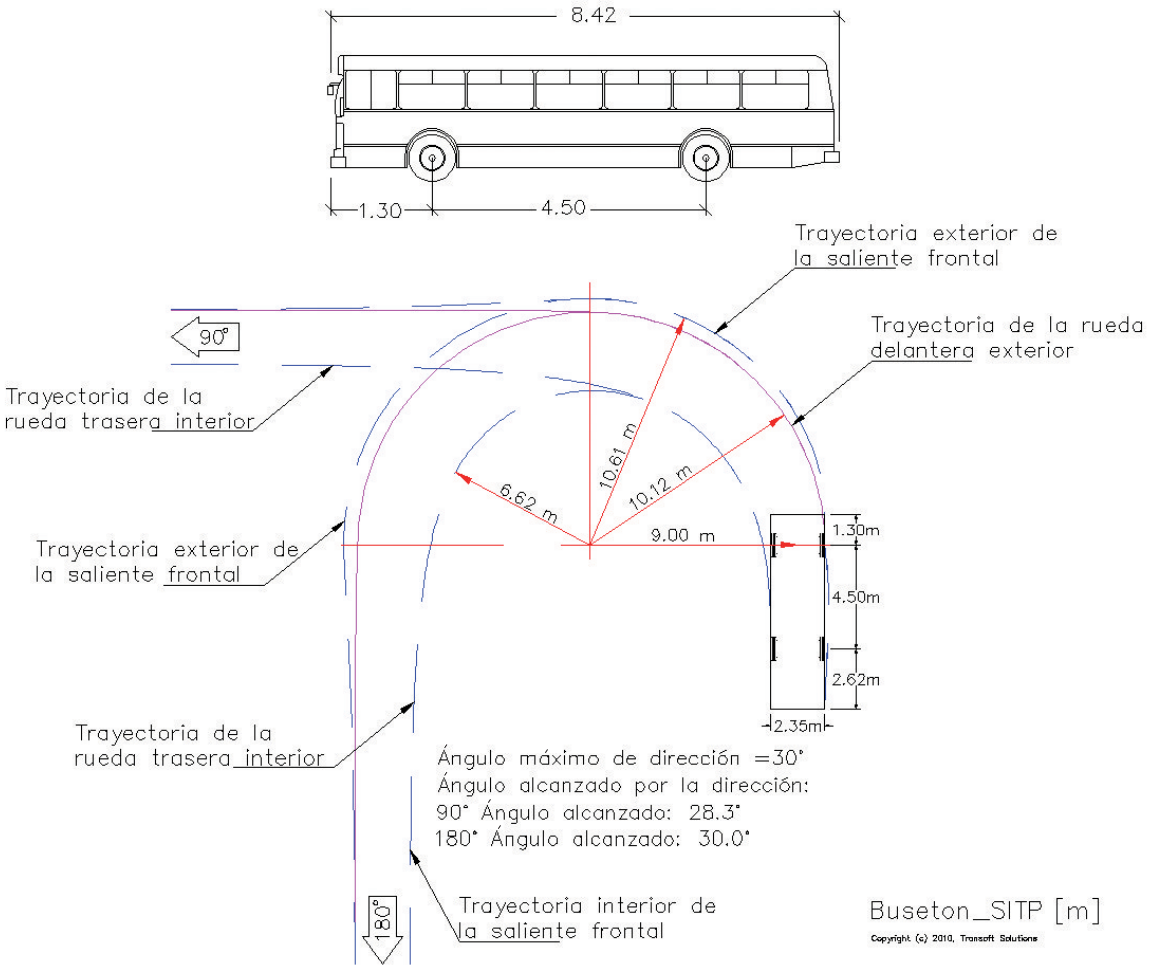
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 10. Trayectoria vehículo BUSETA – 40 PAS -7.59



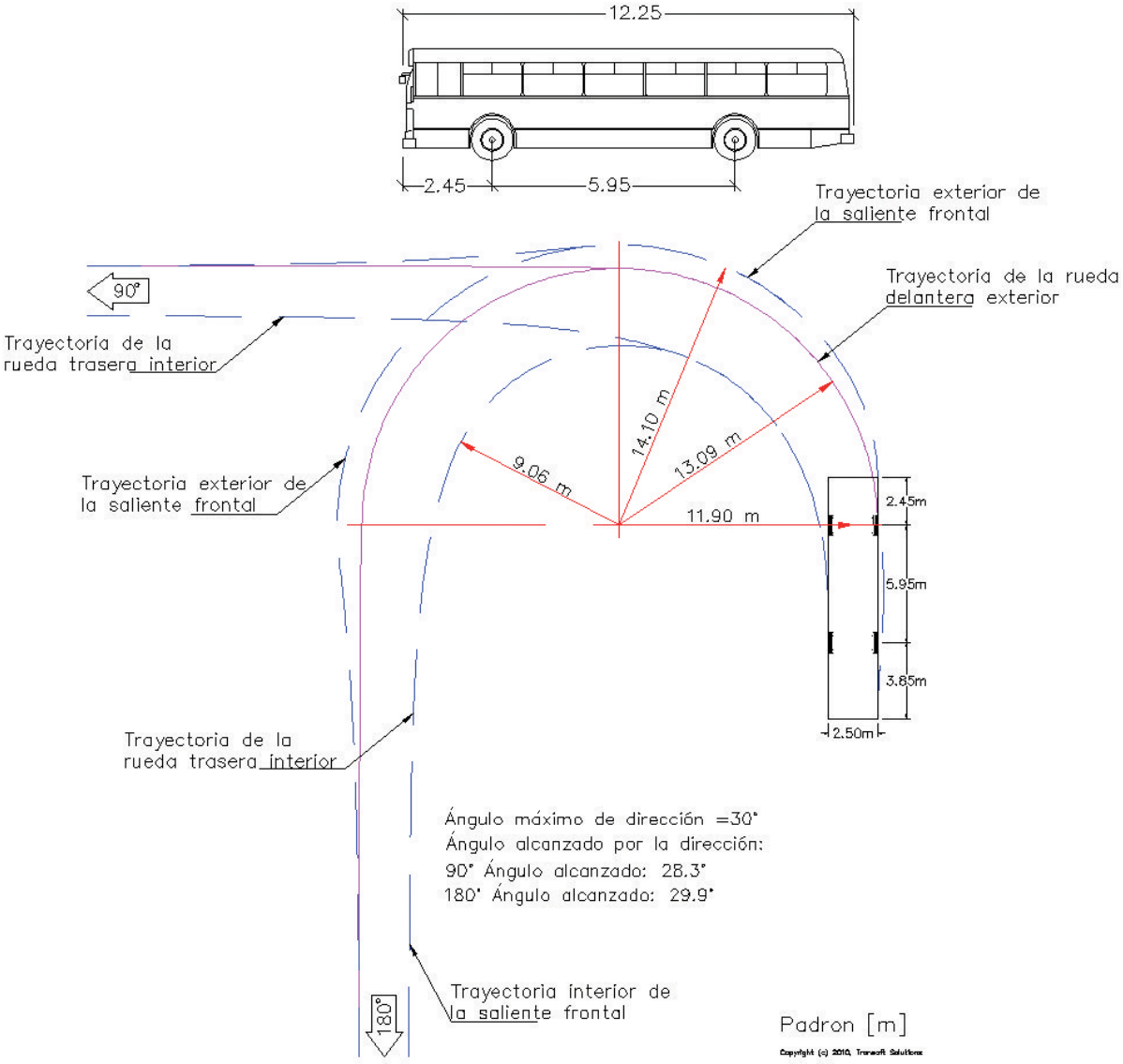
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 11. Trayectoria vehículo BUSETÓN – 50 PAS -8.42



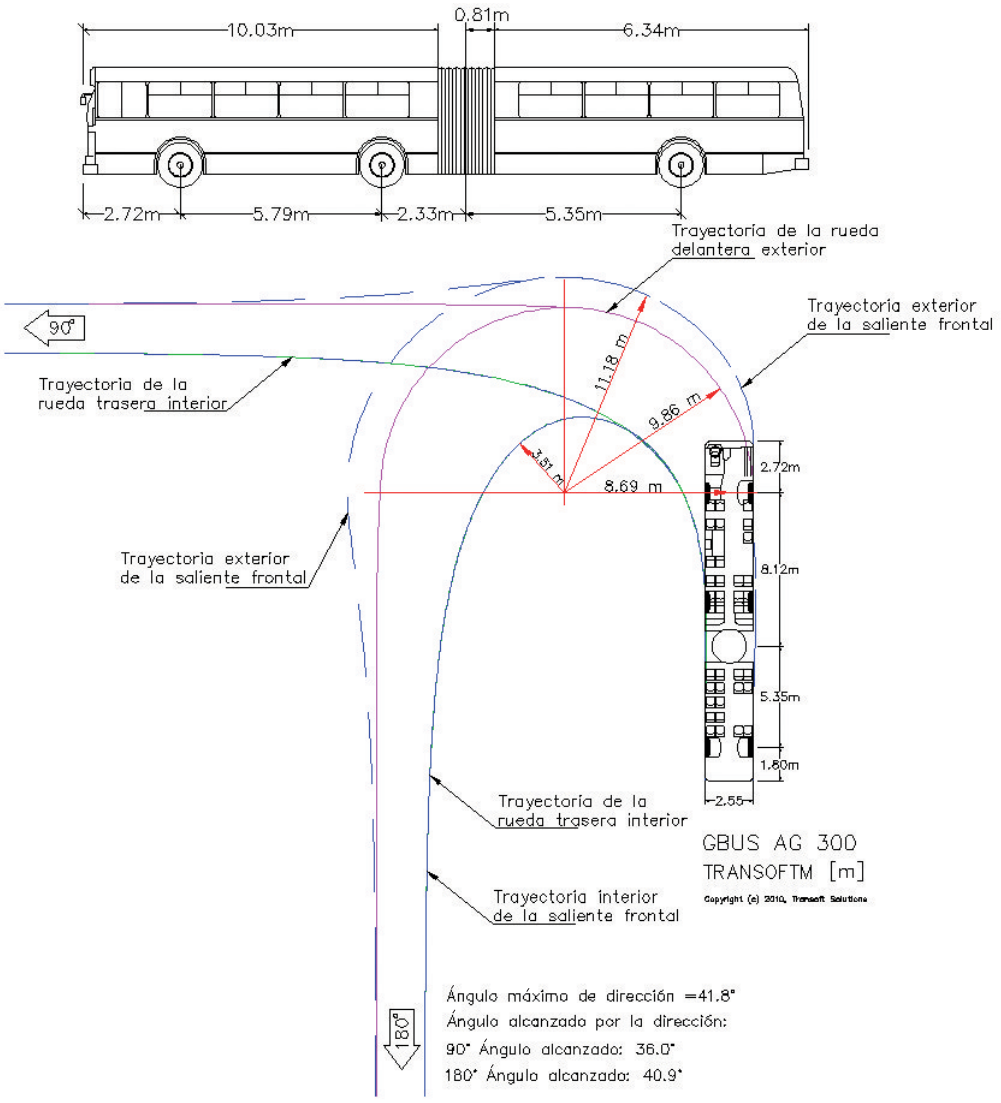
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 12. Trayectoria vehículo PADRÓN – 80 PAS -12.25



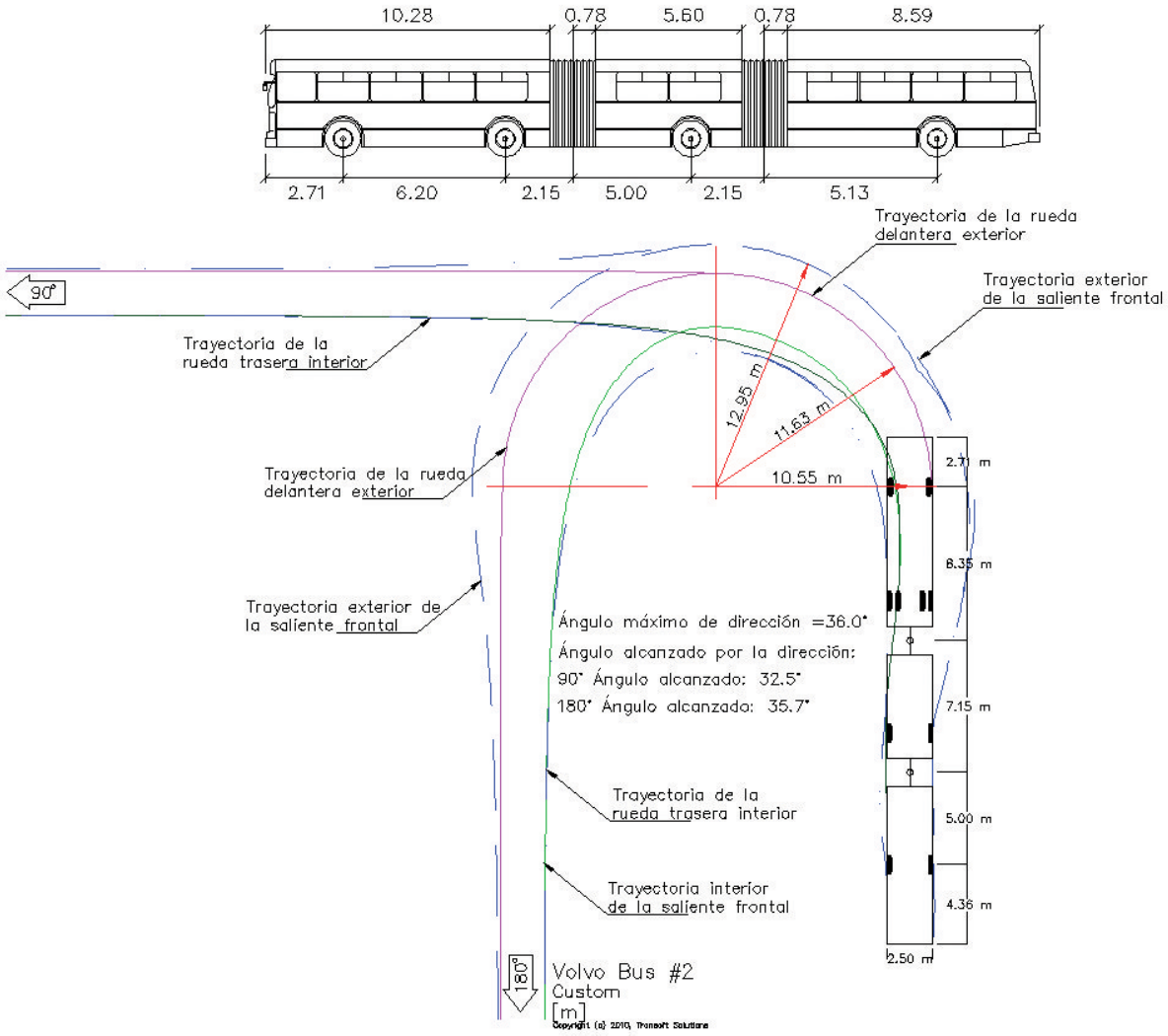
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 13. Trayectoria vehículo ARTICULADO – 160 PAS -18.29



Fuente: Autoturn 7.0

Figura 14. Trayectoria vehículo BIARTICULADO – 240 PAS -27.57



Fuente: Autoturn 7.0

4.2 CONCEPTOS ASOCIADOS CON VELOCIDAD

La velocidad juega un papel relevante a la hora de determinar las características geométricas de las vías y de los elementos geométricos, así como en la determinación de las condiciones operacionales de la infraestructura, una vez construida. Por lo tanto, el concepto de velocidad toma importancia desde diferentes dimensiones incluyendo las condiciones de tránsito, la geometría de la infraestructura, la exposición y vulnerabilidad ante el riesgo de accidentes, la vocación funcional de los corredores, la interacción entre actores viales, y los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura, entre otros.

A nivel urbano la determinación de velocidades de diseño y velocidades de operación depende de múltiples aspectos a considerar, como son:

- Controles de orden primario.
- Condiciones topográficas.
- Nivel funcional del corredor.
- Capacidad y niveles de servicio.
- Cantidad de interferencias y áreas de actividad adyacentes.
- Centros generadores de tránsito adyacentes.
- Espacio disponible para la infraestructura a diseñar.
- Interferencias entre actores viales.
- Presencia de volúmenes peatonales y/o de ciclistas altos.
- Zonas escolares.
- Presencia de conflictos, pasos y/o cruces peatonales a nivel y a desnivel.

Es así como la selección de las velocidades de diseño, de operación, específicas y reglamentarias involucran diferentes variables que el diseñador debe incorporar, no sin antes entender la definición de cada uno de estos conceptos:

4.2.1 Velocidad de operación

La velocidad de operación (Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 2001), se define como la velocidad a la que un vehículo puede circular, sin verse restringido por condiciones relacionadas con el tránsito o la meteorología. Es decir, la velocidad que alcanza un vehículo a flujo libre en función de la percepción que el conductor tiene de la vía y el entorno sin condicionamientos externos adicionales.

Entonces la velocidad de operación será la que se mida en condiciones de flujo libre y comúnmente se relaciona con el percentil 85 del registro de velocidades puntuales por vehículo y no por pelotón; éstas son medidas en la mitad de curvas horizontales y de las rectas que tengan suficiente longitud.

Respecto de los estudios de campo para obtener estos registros de velocidad, se sugiere consultar el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005).

Para proyectos de mejoramiento o rehabilitación la escogencia de la velocidad de diseño geométrico, se debería considerar la velocidad a la que operan los vehículos. Se puede tener un registro de las velocidades de operación existentes, para que la base de datos asociada sirva para estimar a qué velocidad se opera en comparación con la velocidad a la cual fue diseñada la infraestructura. Por lo general este análisis arroja factores de seguridad negativos pues se demuestra que comúnmente se transita a velocidades mayores a las de diseño. En este caso los diseños de mejoramiento deben contemplar medidas que optimicen las condiciones de seguridad vial, disminuyendo la velocidad de operación o aumentando la de diseño según lo definan las restricciones urbanísticas y de seguridad vial.

En el caso de proyectos viales nuevos, se puede hacer uso de los registros de velocidad de operación en vías con características similares a las que tendrá el proyecto objeto de diseño y, obtener así, un valor de partida para la velocidad de diseño, con un factor de seguridad vial, definido por la relación entre la velocidad de diseño sobre la velocidad de operación, de mínimo 1.0.

4.2.2 Velocidad de diseño

Esta velocidad corresponde a la máxima velocidad que un vehículo puede mantener en un determinado tramo de una vía, a la cual pueden circular los vehículos en condiciones de seguridad cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables para garantizar que las características de diseño prevalezcan (Instituto Nacional de Vías INVIAS, Secretaría General Técnica, 1998).

La velocidad de diseño establece las especificaciones mínimas de los elementos de diseño geométrico de una sección de vía para garantizar una seguridad total al usuario; estos elementos de diseño incluyen los alineamientos vertical y horizontal, la distancia de visibilidad y los valores de peralte máximo.

La velocidad de diseño como control debe además ser consistente con la velocidad que espera el conductor promedio que opera u operará la vía, por lo tanto ésta debe ser compatible con los niveles deseados de seguridad vial, movilidad y eficiencia. Para la escogencia de una velocidad de diseño de una vía urbana se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de proyecto a desarrollar.
- La clasificación funcional de la vía o las vías.
- Tipo de terreno.
- Tipo y volumen del tráfico (carga y transporte público).
- La densidad y carácter de los usos del suelo adyacentes.
- Las consideraciones económicas y ambientales.

- Anchos de la sección transversal.
- Conflictos vehículo-vehículo y vehículo-peatón que persistan con el proyecto.
- Maniobras de ascenso y descenso de pasajeros.

A pesar de la existencia de estos condicionantes, el diseñador podrá seleccionar una velocidad de diseño preliminar, con base exclusivamente en el tipo de terreno y la jerarquía funcional de las vías a empalmar, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 9. Velocidad de diseño de referencia Vs Jerarquía de la vía y tipo de terreno

JERARQUÍA DE LA VÍA	TIPO DE TERRENO		
	Plano	Ondulado	Montañoso
Arterial Principal	100-120*	80-100*	60-80
Arterial Complementaria	80-100*	60-80	40-60
Vías Intermedia	40-60	30-40	20-30
Vías Locales	30-40	20-30	10-20

* Aplica solo para anchos de carril mayores o iguales a 3.50 m

Fuente: Elaboración propia.

Los valores presentados en la tabla anterior corresponden a velocidades de diseño aceptables para varias condiciones de terreno y volúmenes de tránsito asociadas con carreteras nuevas o reconstruidas.

En este sentido, inicialmente se escoge una velocidad de referencia con la que se inicia el diseño de los alineamientos. No obstante, durante el ejercicio de configuración geométrica, el diseñador reconocerá que dicha velocidad podría afectarse en función de factores tales como límites de velocidad, restricciones físicas, manejo peatonal, entre otros. Así, el valor de velocidad de diseño se empezará a ajustar para tales requerimientos, siempre y cuando garanticen la seguridad y comodidad del proyecto a futuro.

Cabe anotar algunas premisas (propias de documento) en torno a la velocidad de diseño:

- En vías con control de accesos, las velocidades de operación suelen ser altas; en este sentido las velocidades de diseño deben mantenerse en los rangos recomendados mediante un manejo seguro de los demás factores incidentes. Así, las vías de la red arterial deberán contar con separación vertical de pasos peatonales, accesos controlados, prohibición de estacionamiento en vía, intersecciones viales a desnivel etc,.
- En vías intermedias y locales, cuando las condiciones operacionales, urbanísticas y de seguridad intervengan drásticamente es preferible disminuir los rangos de velocidad de referencia para no aumentar la accidentabilidad y el riesgo al que se verán enfrentados todos los actores de la vía.

- En un mismo proyecto se pueden determinar varias velocidades de diseño: por vía, por calzada, por intersección, por ramal, por tramo vial, etc. Cuando se trate del análisis de una calzada o de un mismo eje de diseño, es conveniente una longitud mínima de tramo (500 m o más) para poder variar la velocidad.

Finalmente, una vez ajustado el esquema básico de diseño, la velocidad de diseño se definirá como la mínima de las velocidades específicas. Por lo tanto, se calcula con el radio mínimo del alineamiento o tramo de análisis:

$$V = \sqrt{127Rmin(e - f)}$$

Donde:
Rmin = Radio mínimo en metros
e = Peralte máximo Véase Capítulo 3 - Peraltes
f = Coeficiente de fricción máximo. Véase Capítulo 3 – Peraltes

4.2.3 Velocidad específica

La velocidad específica de un elemento de diseño de la vía, es la máxima velocidad que un vehículo puede mantener a lo largo del elemento considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando no hay limitaciones de infraestructura, tránsito, ni clima que impidan desarrollar esta velocidad siendo las características geométricas del elemento las únicas que pueden imponer limitaciones (Instituto Nacional de Vías INVIAS, Secretaría General Técnica, 1998).

La velocidad específica en curvas horizontales presenta una relación con respecto al radio de la curva, mientras que en curvas verticales se relaciona con la diferencia de pendientes de entrada y salida y la longitud de la curva. Además, intrínsecamente está relacionada con los anchos de calzada, anchos de bermas, presencia de obstáculos laterales, etc,.

Durante el diseño y la estimación de las velocidades específicas deben tenerse en cuenta algunas recomendaciones:

- La velocidad específica no debe sobrepasar en más de 30 km/h a la velocidad de diseño.
- La velocidad específica entre curvas adyacentes no debe diferir en más de 20 km/h.

PROCESO DE ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES PARA CORREDORES ARTERIALES NUEVOS

- **Analice las velocidades de operación y en función de ellas determine un rango de velocidades de diseño que conduzcan a factores de seguridad vial deseables.**
- **Seleccione la(s) velocidad(es) de diseño de referencia en función del tipo de terreno y la jerarquía funcional de las vías.**
- **Identifique las restricciones físicas, urbanísticas, constructivas, otras derivadas del manejo peatonal, etc. que impliquen reducciones a la velocidad de diseño de referencia.**
- **Realice el trazado geométrico en función del rango de velocidades seleccionado.**
- **Defina las velocidades específicas de los elementos y chequee que entre curvas sucesivas no haya diferencias mayores a 20 km/h.**
- **Defina la(s) velocidad(es) de diseño como la mínima de las específicas.**
- **Revise que ninguna velocidad específica supere en más de 30 km/h a la velocidad de diseño.**

En vías urbanas diferentes a los corredores arteriales nuevos, la selección de la velocidad de diseño no satisface el proceso anteriormente descrito, dado que mantener la uniformidad en las velocidades resulta imposible. En estos casos deben considerarse medidas de señalización, tráfico calmado y configuración geométrica que se describirán con detalle en los capítulos siguientes.

4.2.4 Velocidad reglamentaria

Se refiere a la máxima velocidad permitida para la circulación vehicular según la normatividad vigente. De acuerdo con la ley 1239 de 2008, mediante la cual se modifican los artículos 106 y 107 de la Ley 769 del 2 de agosto de 2002 y se dictan otras disposiciones, en las vías urbanas las velocidades máximas y mínimas para vehículos de servicio público o particular será determinada y debidamente señalizada por la autoridad de Tránsito competente en el distrito o municipio respectivo. En ningún caso podrá sobrepasar los 80 kilómetros por hora. El límite de velocidad para los vehículos de servicio público, de carga y de transporte escolar, será de sesenta (60) kilómetros por hora. La velocidad en zonas escolares y en zonas residenciales será hasta de treinta (30) kilómetros por hora.

La misma norma establece que en las carreteras nacionales y departamentales las velocidades autorizadas para vehículos públicos o privados, serán determinadas por el Ministerio de Transporte o la Gobernación, según sea el caso teniendo en cuenta las especificaciones de la vía. En ningún caso podrá sobrepasar los 120 kilómetros por hora. Para el servicio público, de carga y de transporte escolar el límite de velocidad en ningún caso podrá exceder los ochenta (80) kilómetros por hora. Será obligación de las autoridades mencionadas, la debida señalización de estas restricciones.

Para espacios urbanos y de acuerdo con la Ley 1383 de 2010 la velocidad en vías urbanas es máximo 80 km/h y será función de lo definido por la autoridad de tránsito, en este caso la Secretaría Distrital de Movilidad, la cual ha desarrollado un concepto técnico para la definición de límites de velocidad de operación en vías urbanas.

4.3 CRITERIOS BÁSICOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

Existe una serie de criterios básicos que deben tenerse en cuenta desde el inicio del proyecto de diseño geométrico y objeto de revisión constante durante el proceso. A continuación se resumen en una lista de chequeo los principales criterios, referidos a velocidades, anchos de carril, anchos mínimos de andén, gálibos, peraltes máximos, entre otros. No obstante, este listado funciona como un control preliminar o chequeo rápido por lo que en el desarrollo de la Guía se profundizará en cada uno de los temas:

- La curvatura debe ser consistente con la velocidad de diseño del tramo o zona a diseñar, en vías arteriales.
- Los radios mínimos dependerán de la velocidad específica requerida y las trayectorias de los vehículos en accesos y bifurcaciones.
- En Arterias Principales para deflexiones menores a 5º la longitud mínima de la curva es de 150 m (30 m más por cada grado menos), esto para evitar quiebres bruscos que afecten la seguridad y comodidad en la circulación.
- En Arterias Principales, la longitud de una curva compuesta en ningún caso podrá ser menor a 250 m.
- En Arterias Principales y Complementarias, el radio mayor no debe exceder en más de 2,5 veces al menor en curvas circulares compuestas.
- En Arterias Principales y Complementarias, así como en vías Intermedias y Locales, las curvas revertidas están prohibidas. En casos extremos podrían llegar a utilizarse, pero siempre espiralizadas.
- Los tramos rectos entre curvas circulares del mismo sentido deben tener una longitud tal que se garantice la transición del peralte de acuerdo con las recomendaciones para pendientes relativas de borde.
- Para vías de varias calzadas debe existir un eje de diseño por calzada; no son aceptables ejes de diseño que vayan por los separadores.
- Se requieren pendientes longitudinales mínimas de 0,3% para garantizar el drenaje superficial.
- Longitudes de curva vertical deben garantizar la distancia de visibilidad de frenado.
- El gálibo vehicular mínimo a garantizar es de 4.9 m en vías arteriales, y 4.5 m en vías locales e intermedias. En zonas donde existan pasos del ferrocarril el gálibo mínimo deberá ser de 5.5 m.
- El bombeo normal debe ser mínimo del 2%.

- Cuando las calzadas tengan más de dos carriles, el eje de diseño debe localizarse por una de las líneas de demarcación de carril y drenar de la siguiente manera: para 3 carriles, 2 hacia un costado y 1 hacia el otro, para 4 carriles, 2-2 y para 5 carriles 3-2.
- El peralte máximo recomendado a nivel urbano es de 4%, en Arterias Principales podrá aceptarse hasta 6%. En puentes y túneles puede aceptarse hasta el 8%.
- El ancho mínimo de carril para tránsito particular es de 3.0 m, de 3.2 para transporte público y 3.5 m para transporte masivo tipo BRT (no incluye tachones de separación).
- Los anchos mínimos de la franja de circulación peatonal son de 7.0 m en escala metropolitana, 4 .0 m en escala zonal y 1.5 m en escala local.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (Vol. Tomo II). Bogotá.

American Association of State and Transportation Officials, AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington E.U: AASHTO.

Carciente, J. (1980). *Carreteras, Estudio y Proyecto*. Caracas, Venezuela: Ediciones Vega.

CEPAL; ILPES, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social; Pacheco, Juan Francisco; Contreras, Eduardo. (2008). *Manual Metodológico de Evaluación Multicriterio para Programas y Proyectos*. Santiago de Chile: CEPAL.

Federal Highway Administration. (2011). Guide on the Consistent Application of Traffic Analysis Tools and Methods.

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU;. (2011). Análisis Individual de Riesgos. Plan Zonal del Norte. Bogotá.

Instituto Nacional de Vías INVIAS, Secretaría General Técnica. (1998). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*.

Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2001). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*. Lima, Perú.

Rodríguez Espinosa, D. P., & Alegría Velasco, M. F. (2011). La Evaluación del Riesgo como Herramienta para el Desarrollo de Auditorías de Seguridad Vial en Sistemas de Transporte Masivo. *PANAM 2011*. Santiago de Chile.

Secretaría de Desarrollo Social; Dirección General de Ordenación del Territorio. (s.f.). *Tomo XI Manual de Conceptualización de Proyectos Ejecutivos*. México.



CAPÍTULO 3

DISEÑO GEOMÉTRICO DE CORREDORES VIALES

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 3: DISEÑO GEOMÉTRICO DE CORREDORES VIALES **115**

1 PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO PLANIMÉTRICO **121**

1.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS 121

1.1.1 Usos de la clotoide como curva de transición y tipos de concatenaciones con elementos curvos 122

1.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS 126

2 PERALTES **135**

2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS 135

2.1.1 Peralte máximo en vías arteriales e intermedias 136

2.1.2 Radio mínimo en vías arteriales e intermedias 136

2.1.3 Grado de curvatura máximo 137

2.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS 138

2.3 TRANSICIÓN DEL PERALTE 140

2.3.1 Concatenaciones E-C-E 141

2.3.2 Concatenaciones E-E 142

2.3.3 Concatenaciones C 142

3 PARÁMETROS Y CRITERIOS DEL DISEÑO DE SECCIONES TRANSVERSALES **142**

3.1 CRITERIOS QUE INFLUYEN EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL 143

3.2 ELEMENTOS DE DISEÑO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES 143

3.2.1 Calzadas vehiculares 147

3.2.2 Separadores 155

3.2.3 Taludes y terraplenes y muros de contención en vías urbanas 157

3.2.4 Espacio Lateral: Zonas Peatonales, Zonas para Ciclistas y Espacio Libre 157

3.2.5 Zonas complementarias 172

3.3 CONTROL DE ACCESOS 181

4 ANÁLISIS DE VISIBILIDAD **183**

4.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REACCIÓN 183

4.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA 184

4.3 DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO EN VÍAS BIDIRECCIONALES 185

5 PARÁMETROS Y CRITERIOS DEL DISEÑO ALTIMÉTRICO **186**

5.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS 186

5.1.1 Pendiente mínima 186

5.1.2 Pendiente máxima 187

5.1.3 Gálibos 189

5.1.4 Curvas verticales 189

5.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS 192

6 EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EN CORREDORES **195**
6.1 ANÁLISIS EN RED 196
6.1.1 Definición de la metodología y alcance 197
6.2 ANÁLISIS PUNTUAL 198
6.3 ANÁLISIS DE FLUJOS NO MOTORIZADOS 199

7 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS **201**
7.1 PAISAJISMO 201
7.1.1 Paisajismo recomendado para calles colectoras y locales 202
7.1.2 Paisajismo en accesos 202
7.2 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD 204
7.2.1 Resaltos 205
7.2.2 Pompeyanos 206
7.2.3 Bandas transversales 207
7.2.4 Estrechamiento de calzada 207
7.3 ELEMENTOS DE CONTENCIÓN VEHICULAR 208
7.3.1 Clasificación de los sistemas de contención vehicular 209
7.3.2 Criterios para la implementación de barreras de contención vehicular 210
7.3.3 Principales tipos de barreras aplicables a nivel urbano 212
7.3.4 Criterios generales para la implementación de barreras 213
7.3.5 Amortiguadores o atenuadores de impacto 220

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **222**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de la curva circular 123
Figura 2. Elementos de la Concatenación Espiral-Espiral 124
Figura 3. Elementos de la Concatenación Espiral-Circular-Espiral 125
Figura 4. Elementos de la Concatenación Circular Compuesta 126
Figura 5. Diagrama de flujo resumen del diseño geométrico en planta 127
Figura 6. Fragmento de esquema planimétrico de un corredor 134
Figura 7. Diagrama de fuerzas que experimenta el vehículo en curva 135
Figura 8. Cálculo de la longitud de transición 140
Figura 9. Diagrama de peraltes típico 141
Figura 10. Elementos de las secciones transversales urbanas 144
Figura 11. Elementos de las secciones transversales 146

Figura 12.	Calzadas de servicio en sección encajonada	148
Figura 13.	Variación del número de carriles y cambios adicionales en el ancho de la sección transversal	151
Figura 14.	Geometría intercambiadores de calzada	152
Figura 15.	Intercambiadores con cuña y sin carriles de aceleración ni desaceleración	153
Figura 16.	Intercambiador de calzada con carriles de aceleración y desaceleración	154
Figura 17.	Intercambiador de calzada en curva	154
Figura 18.	Cruce peatonal prioritario	158
Figura 19.	Espacio mínimo recomendado para dos ciclousuarios	162
Figura 20.	Ciclorruta sobre andén	167
Figura 21.	Carril bici protegido, no recomendable en zonas adyacentes a transporte masivo	167
Figura 22.	Ciclorruta sobre el separador central	168
Figura 23.	Ciclorruta en zona mixta, compartiendo circulación con peatones (Principalmente en plazoletas y puntos de encuentro)	168
Figura 24.	Sección transversal con andén mínimo y zona verde arborizada	171
Figura 25.	Plataformas dentadas	175
Figura 26.	Plataforma poliédrica	175
Figura 27.	Sección transversal plataforma con troncales y alimentadores	176
Figura 28.	Paradero de toque en Corredor Arterial	178
Figura 29.	Sección Transversal Paradero de toque en Corredor Local	178
Figura 30.	Paradero con bahía para dos buses con opción de adelantamiento	179
Figura 31.	Paradero dentado	180
Figura 32.	Elementos de las curvas verticales	189
Figura 33.	Diagrama de flujo para el diseño altimétrico de corredores	193
Figura 34.	Escala de análisis de tránsito en corredores	195
Figura 35.	Proceso simplificado ejecución de los estudios	196
Figura 36.	Proceso diseño de facilidades a modos no motorizados	199
Figura 37.	Criterios generales para facilidades peatonales	200
Figura 38.	Líneas de visión para conductor, libres de obstáculos	203
Figura 39.	Líneas de visión para conductor, libres de obstáculos (Arborización)	203
Figura 40.	Árbol proyectado su crecimiento	204
Figura 41.	Procedimiento general para el diseño de una barrera de contención.	211
Figura 42.	Relación entre la disposición transversal de la barrera y la prolongación de la sección anterior al obstáculo	213
Figura 43.	Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos y desniveles	214
Figura 44.	Requerimientos para la disposición en altura de la barrera	215
Figura 45.	Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera antes del obstáculo	215
Figura 46.	Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera después del obstáculo	216
Figura 47.	Barrera de contención ubicada en un tramo curvo de curvo	217
Figura 48.	Ubicación correcta de una barrera de contención en el separador central	218
Figura 49.	Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera	219
Figura 50.	Criterios para la implementación de atenuadores de impacto en narices en rampas de salida	220
Figura 51.	Criterios para la implementación de atenuadores de impacto en rampas de salida	221

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ejes de rotación de las calzadas vehiculares	129
Tabla 2.	Tipo de curva de acuerdo al ángulo de deflexión	131
Tabla 3	Longitudes mínimas de la clotoide	133
Tabla 4.	Radios mínimos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos	137
Tabla 5.	Grados de curvatura máximos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos	137
Tabla 6.	Tasas de peraltes para determinados radios, velocidades y peraltes máximos	139
Tabla 7.	Máximas pendientes relativas	140
Tabla 8.	Parámetros reglamentados por el POT en secciones transversales urbanas según el perfil vial	145
Tabla 9.	Longitudes de transición para aparición y desaparición de carriles	150
Tabla 10.	Parámetros a tener en cuenta en el diseño de intercambiadores	153
Tabla 11.	Valores máximos y mínimos recomendados para bermas urbanas	155
Tabla 12	Clasificación de anchos de andén según escala urbana de implementación	159
Tabla 13.	Dimensiones geométricas para garantizar la circulación de personas con movilidad reducida en rampas	161
Tabla 14.	Anchos mínimos de ciclorruta en función de los volúmenes bicicleta/día	162
Tabla 15.	Ventajas y desventajas de los tipos de ciclorrutas	164
Tabla 16.	Jerarquía vial en relación al tipo de ciclorruta	169
Tabla 17.	Premisas para el control de accesos en Vías Arteriales	182
Tabla 18.	Distancia de visibilidad de parada	185
Tabla 19.	Distancias de visibilidad de adelantamiento para vías bidireccionales en corredores arteriales e intermedios con control de accesos	186
Tabla 20.	Pendientes máximas permitidas en proyectos nuevos	188
Tabla 21.	Longitudes mínimas para curvas verticales	191
Tabla 22.	Clasificación de los sistemas de contención de acuerdo con la rigidez de los mismos	210
Tabla 23.	Criterios para la selección del tipo de contención	210

Este capítulo se refiere a los aspectos procedimentales y metodológicos del diseño geométrico de corredores urbanos, incluyendo los arteriales regionales, principales, secundarios e intermedios y los locales[1] (Véase definiciones en Capítulo 1 o en el glosario). Complementariamente se mencionarán aspectos generales para el diseño de troncales de transporte tipo BRT (por sus siglas en Inglés, *Bus Rapid Transit*) y autopistas urbanas.

El diseño de vías urbanas incluye elementos como los alineamientos horizontales, verticales, el peralte, el ancho de calzada, la distancia de visibilidad, entre otros, de cuya integración depende la configuración tridimensional de un proyecto de infraestructura vial, seguro, cómodo y eficiente.

D

CORREDOR VIAL (definición propia)

Zona de circulación vehicular, ciclística y/o peatonal, con una trayectoria definida, compuesta por una franja de operación vehicular y unas franjas de espacio público lateral claramente delimitadas. Se constituyen por una sección transversal de paramento a paramento, que incluye entro otros elementos las calzadas, separadores, andenes, ciclorrutas franjas abordadoras, franjas de amoblamiento, zonas de protección ambiental, entre otras. A nivel urbano la distribución y dimensión de estas franjas determinan el perfil vial y por consiguiente la jerarquía del corredor. Longitudinalmente se definen mediante ejes de diseño geométrico para cada calzada vehicular.

El valor agregado de este capítulo consistirá en analizar de manera integral el diseño de planta, diseño vertical, los peraltes y las secciones transversales con el fin de comprender el proyecto espacialmente, y garantizar condiciones de visibilidad, transición segura de velocidades, disposición segura y efectiva de señales de tránsito, árboles y mobiliario urbano, y que en general la visualización del diseño se aproxime a las condiciones del proyecto construido y en operación. De esta manera, se logrará una integración efectiva entre la geometría, el urbanismo, el paisajismo, la señalización, las estructuras, el tránsito y las demás áreas.

1 Aplica para vías locales en desarrollos legalizados, corredores de movilidad local y vías locales bajo la aplicación de instrumentos de regularización de desarrollos.

1. PARÁMETROS Y CRITERIOS DE DISEÑO PLANIMÉTRICO

En el sector urbano, los elementos básicos que integran un diseño planimétrico, están ligados a aquellos que condicionan la geometría del corredor vial de manera directa; estos son:

- Franja de operación vehicular, compuesta por las calzadas y los separadores. El diseño geométrico de las calzadas vehiculares está gobernado por los criterios y normas para establecer los alineamientos horizontales y los que tengan que ver con la variación de la curvatura, mencionados en esta Guía.
- Franja de espacio público lateral, comprendida entre la línea de paramentación y los bordes exteriores de las calzadas. Esta zona tiene un ancho variable, y la tipificación del ancho, depende en buena medida, del dimensionamiento establecido en el POT para cada perfil vial, dependiendo de la clase y función del corredor. Esta zona puede estar comprendida por los andenes, ciclorrutas, zonas abordadoras, (según la Guía Práctica de la Movilidad Peatonal Urbana del IDU, se refiere a la franja destinada al cambio intermodal de transporte) sin generar conflictos para el ascenso y descenso de pasajeros; podría incluir arborización, señalización y mobiliario, franjas de protección ambiental, zonas de amoblamiento urbano, etc.

Un diseño planímetro debe ser seguro, económico, funcional y a su vez armonizar con el entorno que lo rodea. El diseño planímetro se integra a partir de la creación de ejes de diseño por cada una de las calzadas que hacen parte de una solución vial. Asociados a estos ejes, se van configurando los demás elementos que la componen. Las secciones típicas por cada tipo de vía que figuran en el POT, muestran los dimensionamientos y contenidos reglamentarios que se deben respetar, de tal manera que, el diseño planimétrico una vez terminado, sea el producto de un estudio multidisciplinario, coherente con las necesidades de movilidad para la ciudad.

El diseñador también debe tener en cuenta que el diseño de un corredor urbano será siempre único, pues bajo un análisis específico y puntual, las características topográficas, sociales, ambientales, y de usuarios de suelo, ofrecen variaciones que a su vez otorgan condiciones particulares a cada proyecto que deben ser evaluadas según corresponda en cada caso.

1.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS

El diseño geométrico en planta se define en torno a uno o más ejes, que consisten en una sucesión continua de rectas y curvas. Estos últimos pueden ser arcos de circunferencias y/o espirales tipo clotoides. Una y otra se combinan según varias posibilidades analizadas a continuación.

Las alineaciones rectas son de uso habitual en las calles urbanas debido a la simplicidad con que los problemas geométricos propios de todo diseño pueden ser resueltos. Sumado a esto, los tramos rectos ofrecen facilidad de manejo a los usuarios y menores costos de construcción, operación y mantenimiento del proyecto en zonas con topografía plana. De otro lado, es co-

mún encontrar tramos rectos unidos con curvas para solucionar los cambios de dirección en los vehículos, especialmente en vías locales o zonas con velocidades bajas.

Sin embargo, un alineamiento solo con curvas y rectas podría tener una serie de problemas causados por los cambios bruscos de curvatura que se originan por el cambio de ésta desde un valor cero en la tangente hasta un valor infinito y constante en la curva, justo en el punto de unión de los alineamientos. Adicionalmente en este punto se debe realizar el cambio del bombeo normal al valor del peralte de la curva, siendo éstas, situaciones que hacen que los alineamientos con curvas circulares resulten incomodos y peligrosos para los conductores.

Debido a los factores mencionados, en el diseño planímetro se deben utilizar alineamientos de transición entre los alineamientos rectos y curvos de una vía con el fin de garantizar que la curvatura pase gradualmente desde cero hasta un valor finito en el arco circular y que además la inclinación transversal de la vía pase gradualmente del bombeo normal al peralte de la curva. Normalmente, este concepto se conoce como curva de transición o espiral.

Las curvas de transición permiten evitar deformaciones ópticas en los bordes de la vía mejorando la apariencia de la vía e incrementando la visibilidad de la misma, además la curva de transición se adapta mejor al terreno y asimila el comportamiento usual de la mayoría de conductores al aproximarse a las trayectorias recorridas por los vehículos en las curvas. Aunque existen numerosos tipos de curva de transición, el más utilizado en el diseño de vías corresponde a la espiral de Cornú o clotoide, el cual satisface los requerimientos exigidos por la dinámica del movimiento, garantiza la maniobrabilidad del vehículo, permite desarrollar la transición del peralte de forma cómoda y segura, aumenta el confort del conductor, al tiempo que mejora la geometría del trazado.



Las curvas de transición deben usarse en el diseño de las Vías Arteriales de la ciudad, proyectos de Autopistas Urbanas, Vías Rápidas Urbanas y Vías Arterias convencionales, para curvas con radios menores a 1000 m.

1.1.1 Usos de la clotoide como curva de transición y tipos de concatenaciones con elementos curvos

Las clotoides permiten enlazar alineamientos rectos con circulares o en sentido contrario, también enlazar dos alineamientos rectos o dos alineamientos circulares de igual o sentido contrario (Carciente, 1980).

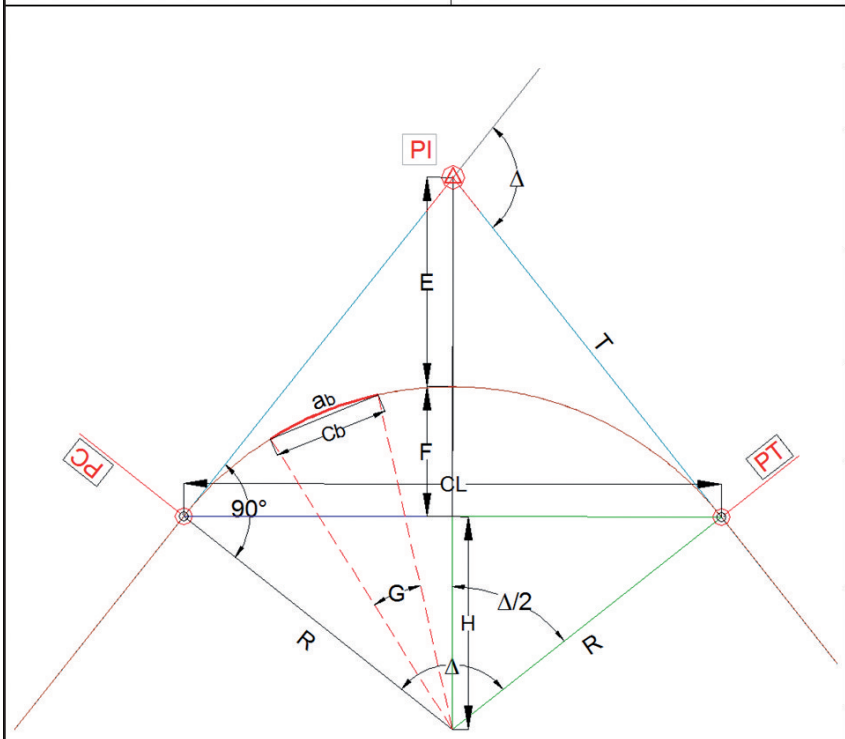
En el primer caso cuando se une un alineamiento recto con uno curvo por medio de una clotoide, ésta recibe el nombre de clotoide simple, ahora, si la curva circular entre la clotoide de entrada y la clotoide de salida se elimina, se obtendría una clotoide de vértice o una concatenación E-E.

Las concatenaciones más utilizadas y seguras para realizar el empalme de dos tangentes en medios urbanos son las siguientes:

- Concatenación Circular C.
- Concatenación Circular compuesta CC.
- Concatenación Espiral-Circular-Espiral. Simétrica ECE.
- Concatenación Espiral-Espiral simétrica E-E.
- Concatenación Espiral-Circular compuesta Espiral ECCE.
- Concatenación Espiral Circular Tangente ECT.
- Concatenación Tangente circular espiral TCE.

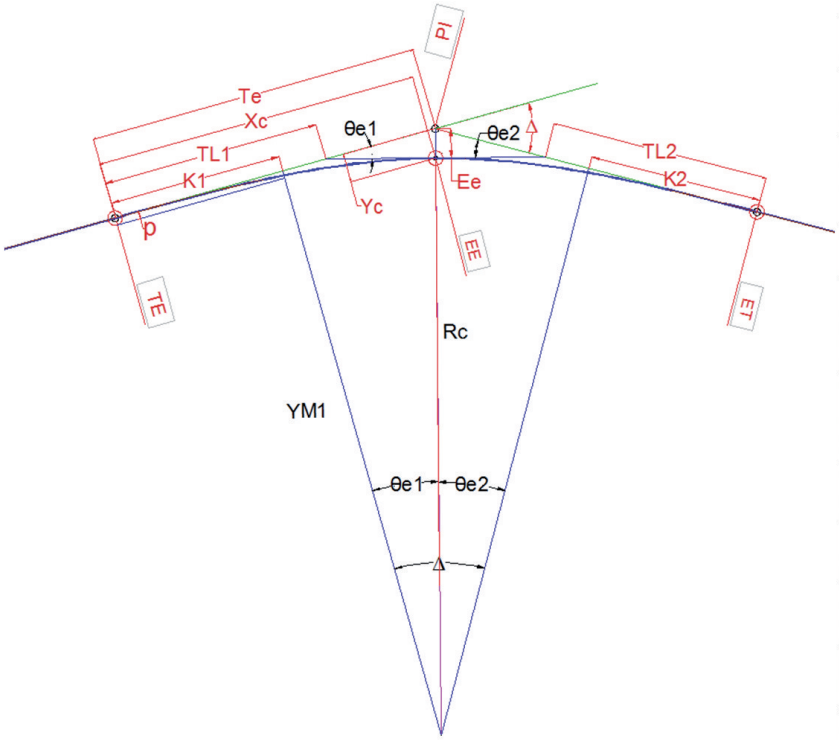
En las figuras presentadas a continuación, se resumen los elementos geométricos más utilizados en la definición y diseño de los tipos de concatenaciones principales:

Figura 1. Elementos de la curva Circular

TIPO: CIRCULAR	**ABREVIATURA:** C	**ELEMENTOS**
		*Angulo de Deflexión (Δ)*
		Radio (R)
		Longitud Circular (Lc) $L_c = R * \Delta$ $L_c = \frac{R * \pi * \Delta}{180}$
		Cuerda Larga (CL) $CL = 2R * Sen\frac{\Delta}{2}$
		Externa (E) $E = R\left(Sec\frac{\Delta}{2} - 1\right)$
		Tangente (T) $T = R * Tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$
		Grado Curvatura (Gc) $G = 2 * \text{Sen}^{-1}\frac{CC}{2R}$
		Radio utilizando Grado Curvatura (Gc) $R = \frac{180 * a_b}{\pi * G_c}$ $R = \frac{C_b}{2 * sen(\frac{G_c}{2})}$

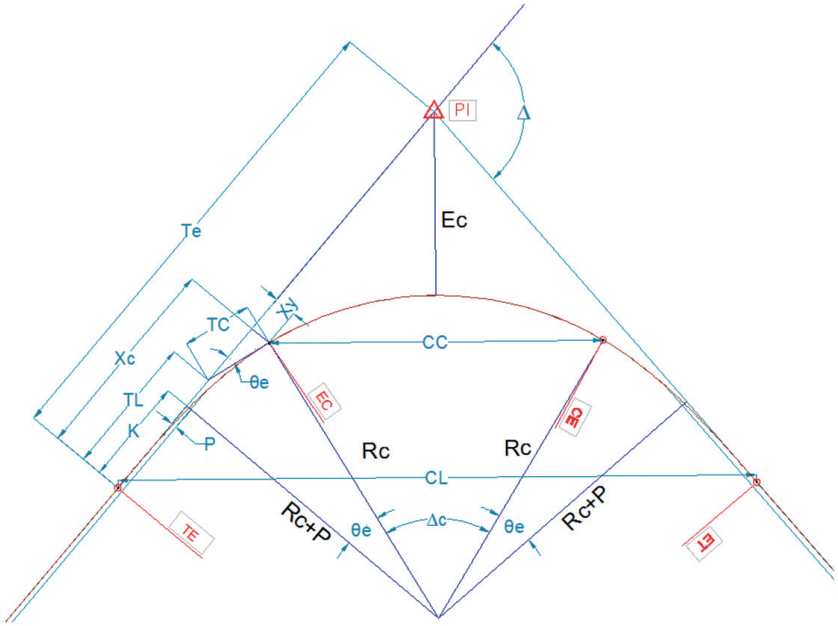
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Elementos de la Concatenación Espiral-Espiral

TIPO: Espiral-Espiral	**ABREVIATURA:** E-E	**ELEMENTOS**
		*Angulo de Deflexión (Δ)*
		Longitud de la espiral (Le)
		Parámetro de la Clotoide (A) $A^2 = R * L$
		Angulo de deflexión entre tangentes en los extremos (Θe) $\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_C}$
		Radio (Rc) $R_C = 2 * L_e * \theta_e$
		Coordenada X del EE (Xc) $Xc = L\left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \cdots\right)$
		Coordenada Y del EE (Yc) $Yc = L\left(\frac{\theta}{3} + \frac{\theta^3}{42} - \frac{\theta^5}{1320} + \frac{\theta^7}{75600} \cdots\right)$
		Tangente Espiral(Te) $T_E = X_C + E_e * Sen\theta_e$
		Externa Espiral (Ee) $E_e = \frac{Y_C}{Cos\theta_e}$
		Disloque (ρ) $\rho = Y_C - R_C(1 - Cos\theta_e)$
		Abscisa Media (K) $K = X_c - R_C * Sen\theta_e$
		Tangente Corta (Tc) $T_c = \frac{Y_C}{Sen\theta_e}$
		Tangente Larga (T_L) $T_L = X_C - \frac{Y_C}{Tan\ \theta_e}$

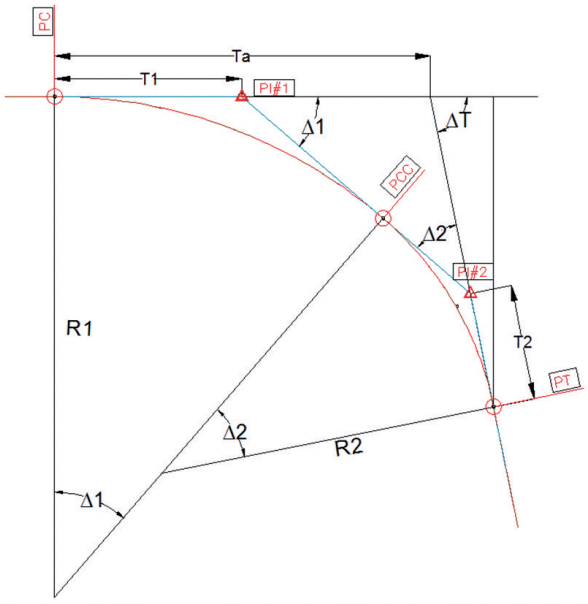
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Elementos de la Concatenación Espiral-Circular-Espiral

TIPO: Espiral - Circular -Espiral	**ABREVIATURA:** E - C - E	**ELEMENTOS**
		*Angulo de Deflexión (Δ)*
		Longitud de la espiral (Le)
		Parámetro de la Clotoide (A) $A^2 = R * L$
		Angulo de deflexión entre tangentes en los extremos (Θe) $\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_C}$
		Radio (Rc) $R_C = 2 * L_e * \theta_e$
		Coordenada Y del EE (Yc) $Yc = L\left(\frac{\theta}{3} + \frac{\theta^3}{42} - \frac{\theta^5}{1320} + \frac{\theta^7}{75600} \cdots\right)$
		Coordenada X del EE (Xc) $Xc = L\left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \cdots\right)$
		Tangente Espiral(Te) $T_E = X_C + E_e * Sen\theta_e$
		Externa Espiral (Ee) $E_e = \frac{Y_C}{Cos\theta_e}$
		Disloque (ρ) $\rho = Y_C - R_C(1 - Cos\theta_e)$
		Abscisa Media (K) $K = X_c - R_C * Sen\theta_e$
		Tangente Corta (Tc) $T_C = \frac{Y_C}{Sen\theta_e}$
		Tangente Larga (T_L) $T_L = X_C - \frac{Y_C}{Tan\,\theta_e}$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Elementos de la Concatenación Circular Compuesta

TIPO: Circular Compuesta	**ABREVIATURA:** C-C	**CONSIDERACIONES**
		*Para el cálculo de los elementos se debe revisar la tabla de curva circular. Este caso es simplemente una sucesión de curvas circulares.* *El radio mayor, no debe exceder 2.5 veces el radio menor.*

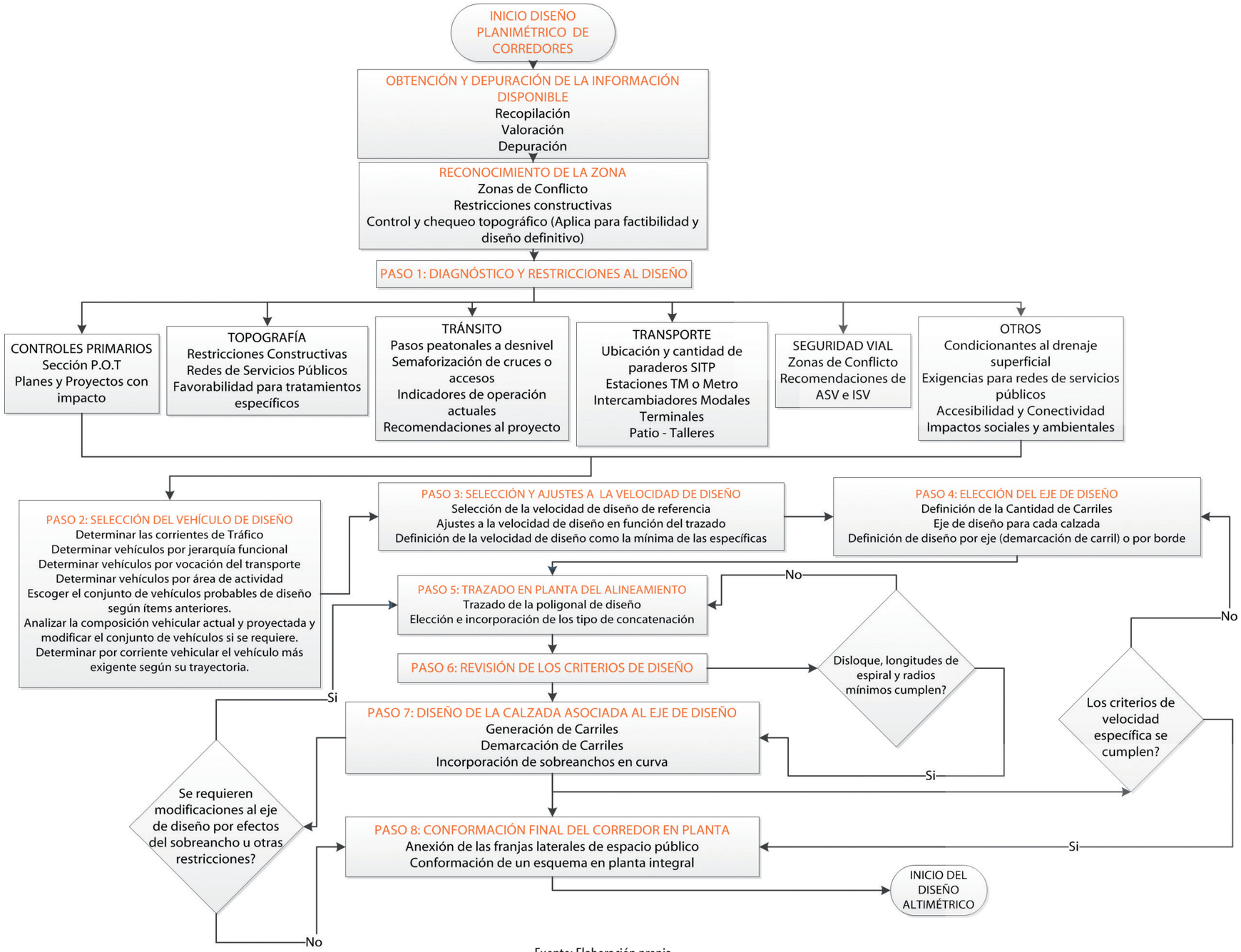
Fuente: Elaboración propia.

1.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

Para lograr un diseño de una vía urbana, el diseñador deberá chequear cada una de las limitantes encontradas antes, durante y después de la elaboración de su eje de diseño, para ello deberá seguir un procedimiento que facilite la elaboración de su eje y le permita cumplir con todos los requerimientos necesarios.

A continuación se presenta el procedimiento sugerido:

Figura 5. Diagrama de flujo resumen del diseño geométrico en planta



Fuente: Elaboración propia.

Paso 1. Diagnóstico y restricciones al diseño
En este paso se deben revisar las características físicas, operacionales y restrictivas de la vía a diseñar de acuerdo con la jerarquía vial establecida (Véase Capítulo 1) que lleven a tener un diagnóstico completo de aspectos como los controles primarios, la topografía, el tránsito (vehicular, peatonal, ciclístico, de carga, de buses), el transporte (corredores exclusivos, paraderos, estaciones, portales y patios), la seguridad vial y otros, que debieron quedar definidos en la lista de chequeo presentada al inicio de Capítulo 2.

Es indispensable conocer el perfil vial proyectado por POT para el corredor o corredores a proyectar con el fin de reconocer e integrar conceptualmente al diseño geométrico todos los elementos, espacios requeridos y restricciones constructivas que harán parte del corredor.

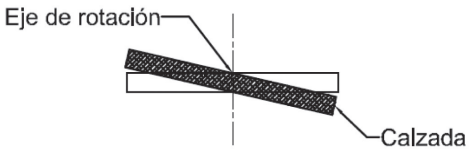
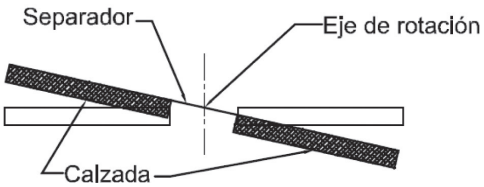
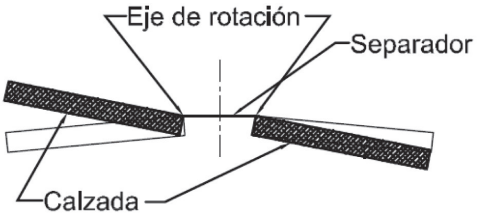
Paso 2. Selección del vehículo de diseño
Se debe seccionar el vehículo que presente las mayores exigencias al diseño (Véase Capítulo 2 Vehículo de diseño) con el objetivo de realizar un diseño que cumpla con todos los aspectos en cuanto a seguridad, comodidad y finalidad.

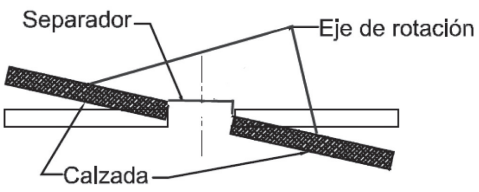
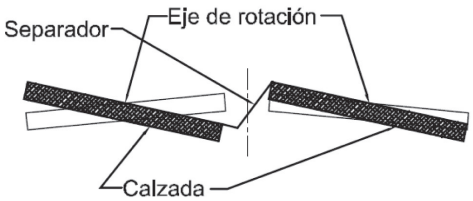
Paso 3. Elección de velocidad de diseño
Se debe seleccionar una velocidad de diseño de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 2. Velocidades de diseño. Una vez determinada continuar al paso 4.

Paso 4. Elección eje de diseño (Por demarcación de carril o borde)
En este paso se debe evaluar el tipo de diseño que se piensa realizar;

- Si se piensa diseñar un corredor continuo se debe empezar a diseñar por un eje por calzada vehicular, que corresponda a una de las líneas de demarcación de carril, en función de los criterios para el manejo del peralte. Así, el eje de diseño coincidirá con el eje de rotación seleccionado para el manejo del peralte, al respecto Véase Tabla 1. Una vez seleccionado el eje ir al Paso 5.

Tabla 1. Ejes de rotación de las calzadas vehiculares

Situación	Esquema de Rotación	Observaciones
Única Calzada		Cuando las calzadas tengan más de dos carriles, el eje de diseño debe localizarse por una de las líneas de demarcación de carril y drenar de la siguiente manera: para 3 carriles 2 hacia un costado y 1 hacia el otro, 4 carriles 2-2 y 5 carriles 3-2.
Varias Calzadas y eje de rotación por separador		**INACEPTABLE A NIVEL URBANO** Esta situación limita el manejo de accesibilidad a predios, debido a que los bordes de calzada se elevan considerablemente. Adicionalmente, al considerar un solo eje para más de una calzada, se comete un error conceptual debido a que se diseña con el mismo peralte, para elementos que poseen diferente radio y grado de curvatura. Bajo esta situación, no se logra mantener la correspondencia entre la curvatura y el peralte y por lo tanto, existirá un déficit, para la calzada interna, por estar calculada con un radio mayor al de su eje geométrico, y un consiguiente aumento de peralte para la calzada externa, por calcularse con un radio menor al de la zona de circulación.
Ejes de rotación por bordes internos de calzada		La localización de los ejes de diseño por borde de calzada suele utilizarse cuando se requiere garantizar horizontalidad o una pendiente transversal dada en el separador. No obstante, dependiendo del ancho de calzada, podrían generarse limitaciones a la accesibilidad, por las mismas razones del caso anterior. Cabe aclarar que teniendo un eje de diseño central a la calzada, o coincidente con una línea de demarcación de carril, las herramientas actuales de diseño permiten generar ejes auxiliares o líneas con elevación por borde, para efectos de la configuración altimétrica de separadores, situación que resultaría más conveniente.

Situación	Esquema de Rotación	Observaciones
Ejes de rotación por demarcación de carril, con separador horizontal		Ésta es la condición deseable a nivel urbano, no obstante la diferencia de altura donde haya tránsito peatonal y de ciclistas debe estar condicionada por la configuración de rampas para personas con movilidad reducida, de acuerdo con los estándares del (IDU, Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)
Ejes de rotación por demarcación de carril, con separador inclinado		Esta situación es aceptable cuando el tránsito transversal de peatones y ciclistas no se realiza al mismo nivel que el vehicular. La diferencia máxima entre bordes internos de calzada dependerá de las condiciones topográficas y de diseño altimétrico. Sin embargo, cuando se superen 0.5 m de diferencia, deberán localizarse elementos de contención según las recomendaciones de la (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Fuente: Elaboración propia, con base en (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

➦ No obstante, si se está diseñando una bifurcación, un retorno o curvas con restricciones constructivas o de espacio disponible, se deberá diseñar por borde y revisar el Capítulo 4**.**

Paso 5. Trazado del alineamiento

Se define la poligonal base del diseño con el fin de conocer los lugares del corredor dónde se requerirán curvas, y chequear el ángulo de deflexión, para elegir el tipo de concatenación requerida.

Las espirales están definidas por el parámetro de la clotoide A, estimable a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \sqrt[2]{L_e + R_c}$$

Donde
A = Parámetro de curva (m)
Le = Longitud de la espiral (m)
Rc = Radio de la circular (m)

Ante todo, debe entenderse que la función geométrica de una espiral es transicionar desde un radio infinito hacia un radio determinado, para poder obtener una variación gradual de la curvatura y adaptarse de mejor manera a la trayectoria vehicular. Para definir el diseño de la transición, en función de la fórmula anteriormente expuesta, el ángulo de deflexión es el elemento geométrico que mejor permite condensar los criterios de selección del tipo de concatenación.

Los casos en los que se presentan ángulos de deflexión grandes, implican radios cercanos al mínimo según la velocidad de diseño y, por lo tanto, parámetros de curva bajos y longitudes de espiral menores, dan cabida a la incorporación de la curva circular intermedia y a una concatenación E-C-E.

Por lo contrario, ángulos de deflexión pequeños, implicarían radios amplios, por lo tanto, parámetros de curva altos y longitudes de espiral mayores que no dan espacio para la incorporación de la curva circular intermedia y en consecuencia resultan E-E. No obstante, cuando el ángulo de deflexión es muy pequeño, los disloques no cumplen los mínimos recomendados y se dificulta su replanteo para construcción, en consecuencia se prefiere que sean diseñados con circulares.

Así, se puede conocer qué tipo de concatenación a utilizar de acuerdo a lo expresado en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipo de curva de acuerdo al ángulo de deflexión

ÁNGULO DE DEFLEXIÓN	TIPO DE CONCATENACIÓN	CASO
0-2°	SIN CONCATENACIÓN *	1
2°-6°	CIRCULAR	2
6°-20°	ESPIRAL-ESPIRAL	3
> 20°	E-C-E	4

Fuente: Elaboración propia.

*Si en ángulo de deflexión es menor a 2° (Caso 1), no es necesario que ésta cuente con curva y se puede dejar como un punto de quiebre (PQ). Entre 2º y 6º se recomienda que se incorporen curva circulares de longitud mayor a 150 m, especialmente para arteriales e intermedias.

Una vez seleccionado el tipo concatenación a diseñar, se establecen los radios de cada curva, para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:



RADIO MÍNIMO DE CURVATURA

- **El radio mínimo de curvatura (RCmin) es el valor límite de curvatura para una velocidad (V) de acuerdo con el peralte máximo (emax) y el coeficiente de fricción transversal máximo (fmax).**
- **La ecuación para determinar el RCmin de acuerdo a lo visto anteriormente se conoce como ecuación de equilibrio y esta determinada por:**

$$R_{cmín} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})}$$

- **Siempre que sea posible, se deben usar radios de curvatura mayores a los mínimos.**

Al trazar el alineamiento e incorporar las curvas horizontales, según lo explicado anteriormente y como lo indica la Tabla 4. Radios mínimos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos, el diseñador deberá garantizar que los radios de éstas siempre estén por encima del mínimo recomendado.

En cuanto a los valores del coeficiente de fricción transversal mínimo y el peralte tomados para el diseño urbano a una determinada velocidad de diseño se debe revisar la sección de peraltes en el presente capítulo.

Las concatenaciones deben cumplir con radios mínimos en función de la Tabla 4. Radios mínimos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos.

Las observaciones que aquí se presentan corresponden a los trazados exclusivamente del corredor en zonas fuera de intersecciones, bifurcaciones o bocacalles, las cuales serán tratadas en el siguiente capítulo.

Paso 6. Revisión de Criterios de Diseño

Disloque (curvas con espirales)
Una vez establecido el tipo de concatenación y el radio para la velocidad preliminar de diseño seleccionada, se revisa el disloque de manera que se cumplan los siguientes criterios de diseño:

- El disloque máximo (p) de una curva Tipo E-E no debe exceder los 2.5 m; de suceder esto, se debe cambiar la concatenación a E-C-E[2].
- El disloque mínimo para curvas E-E y E-C-E no debe ser menor a 0.25 m; si esto sucede es preferible disponer una circular.

Radio mínimo
Durante el ejercicio de configuración geométrica, el diseñador reconocerá que la velocidad de diseño preliminar podría afectarse en función de factores tales como, restricciones físicas, manejo peatonal, necesidades de tráfico calmado, entre otros. Así, será necesario ajustar el valor de velocidad de diseño, mediante modificaciones a los radios de curvatura, pues como se mencionó en el Capítulo 2, la velocidad de diseño corresponderá a la mínima de las específicas, la cual está directamente relacionada con el valor del radio mínimo. En todo caso, deberá garantizarse la seguridad y comodidad del proyecto a futuro, según las premisas básicas de diseño descritas en el Capítulo 2.

Longitud mínima de la espiral
La longitud de la espiral debe cumplir una longitud mínima que garantice un cambio gradual de la curvatura y una transición de peraltes segura y cómoda para el conductor.

A continuación se muestran los valores normales de la clotoide definida por su longitud y radio, teniendo en cuenta la longitud de transición requerida durante el cambio del bombeo normal al peralte de la curva. Véase sección Peraltes, Capítulo 3.

2 Esta recomendación no es aplicable para bifurcaciones.

Chequeo de velocidades específicas
Durante el diseño deben revisarse los siguientes criterios:

- La velocidad específica no debe sobrepasar en más de 30 km/h a la velocidad de diseño.
- La velocidad específica entre curvas adyacentes no debe diferir en más de 20 km/h.

Para realizar los ajustes por disloque, radio y longitud de espiral, devolverse al paso 5.

Tabla 3. Longitudes mínimas de la clotoide

RADIOS (m)	LONGITUD DE LA CLOTOIDE		
	Ancho de Rotación		
	1 CARRIL	2 CARRLES	3 CARRILES
50	55	90	120
60	60	95	130
70	60	100	135
80	65	100	140
90	70	105	145
100	70	110	145
120	75	115	155
140	80	120	160
150	80	125	165
160	85	125	165
180	85	130	170
200	90	130	175
250	90	135	180
300	90	135	180
350	90	135	180
400	90	130	170
450	85	120	155
500	85	110	140
550	80	105	130
600	80	100	120
700	70	90	105
800	65	80	95
900	60	75	90
1000	55	70	85

Fuente: Elaboración propia basada en (Carciente, 1980).

Paso 7. Diseño de la calzada asociada al eje de diseño
Para la conformación de la calzada (debe recordarse que se diseña con un eje por cada calzada) se deberá tener en cuenta el número de carriles que la componen, el ancho de cada uno, el tipo de vehículo que va a transitar por la vía, así como saber si es bidireccional o de un solo sentido.

El tratamiento para la configuración de la calzada en tramo recto corresponde a un alineamiento paralelo del eje central a una distancia igual al ancho del carril. En tramos curvos no es suficiente tal paralelismo, en razón a que se deben considerar los sobreanchos requeridos por el vehículo de diseño para desarrollar la trayectoria. Véase Capítulo 2 – 3.1.4. Cálculo de sobreanchos. Como ya se mencionó, para reconfigurar el borde es necesario contar con la trayectoria del vehículo de diseño, la cual indica el espacio y concatenación que requeriría el borde. Si al incorporar el sobreancho, el espacio es insuficiente y no se respetan las restricciones constructivas, será necesario rediseñar la curva, y el eje o parte de él, utilizando la metodología de diseño por borde o ajustando la localización y/o geometría del eje.

Al rediseñar nuevamente el eje en tramo curvo, se volverán a escoger nuevos radios y será necesario remitirse nuevamente al paso 5.

Paso 8. Conformación final del corredor

Un diseño planimétrico, independientemente de si se encuentra en fase de prefactibilidad, factibilidad o diseño definitivo, debe incluir toda la información necesaria que permita el entendimiento del proyecto integrando todos los aspectos que hacen parte de las franjas de operación vehicular y de espacio público lateral, además de la demarcación de los carriles de circulación.

El diseño planímetro se integra a partir de la creación de ejes de diseño por cada una de las calzadas que hacen parte de una solución vial. Asociados a estos ejes, se van configurando los demás elementos que la componen hasta configurar un esquema planimétrico como el que se muestra a continuación:

Figura 6. Fragmento de esquema planimétrico de un corredor



Fuente: Elaboración propia.

2. PERALTES

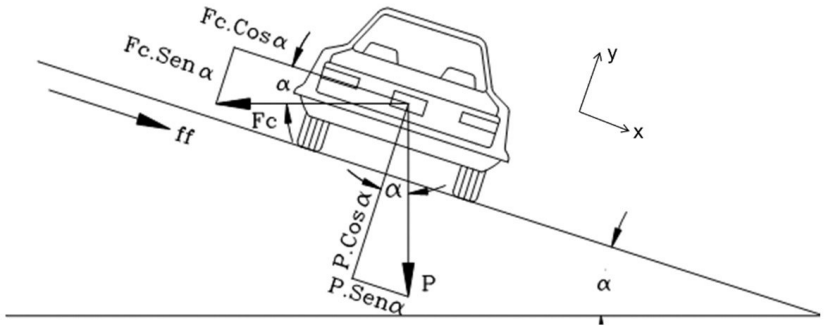
Cuando el vehículo se mueve en una curva horizontal, experimenta una fuerza centrípeta que lo hala hacia el centro de la curva. Esta aceleración se contrarresta con la fricción lateral y la componente horizontal del peso generada al inclinar la calzada hacia el centro de la curva, así pues, el coeficiente de fricción lateral del pavimento y la inclinación transversal en curva, también denominada peralte, son los elementos que contribuyen a la estabilidad de los automotores en su tránsito por elementos con diferentes grados de curvatura.

Como lo menciona el documento de "Instrucción de la vía Pública" (Ayuntamiento de Madrid, 2000), aunque a escala rural los peraltes mejoran la seguridad de circulación en las curvas y permiten reducir su radio, en áreas urbanas éstos deben utilizarse con precaución porque pueden dificultar un adecuado encaje físico de la vía en el entorno y animar a mayores velocidades de las convenientes. Por ello, salvo en las vías de orden arterial, en las que se usarán sin más limitaciones que las técnicas, o en los tramos de vías intermedias sin accesos directos, en las que podrán puntualmente ser de utilidad; en el resto, y particularmente en la red vial local, deberá evaluarse expresamente sus posibles impactos negativos y aplicarse sólo excepcionalmente.

2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS

La base para el cálculo del peralte, no es más que un análisis de equilibrio de fuerzas del vehículo en curva, como lo muestra el siguiente resumen:

Figura 7. Diagrama de fuerzas que experimenta el vehículo en curva



Fuente: Elaboración propia

Igualando fuerzas en X y Y, y expresando la fuerza centrífuga como $Fc = \frac{P.V^2}{g.R}$ se tiene que:

$$f\ (P.Cos\alpha + P.Sen\alpha.V^2/gR) + P.Sen\alpha = P.Cos\alpha\ .V^2/gR$$

O dividiendo por Pcos**α**

$$f(1 + Tan\alpha.V^2/gR) + Tan\alpha = V^2/gR$$

Como tanα es la pendiente transversal de la calzada, es decir el mismo peralte e, y además el producto del peralte por el coeficiente de fricción, es un valor que tiende a cero, la ecuación resultante se puede expresar como:

$$e = V^2/gR - f$$

o según (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011), mediante la ecuación simplificada de equilibrio:

$$f = \frac{V^2}{127R} - 0.01e$$

f = Coeficiente de fricción lateral
V = Velocidad de diseño (Km/h)
R = Radio de la curva (m)
e = Peralte (%)

2.1.1 Peralte máximo en vías arteriales e intermedias

La definición del peralte máximo de diseño está determinada además de la condición de equilibrio, por las limitaciones o impactos sobre la accesibilidad a predios, la comodidad y seguridad en la circulación, el tipo de tránsito, entre otros aspectos. Para el caso de Bogotá, los peraltes máximos recomendados son del 4% y el 6% cuando las calzadas vehiculares estén condicionadas por la franja lateral de espacio público y consiguientemente el acceso a predios. No obstante, cuando se trate de puentes, túneles o corredores segregados verticalmente, podrá usarse hasta un peralte del 8% cuando los radios tiendan al mínimo en función de la velocidad de diseño.

PERALTES MÁXIMOS EN ZONAS URBANAS

- **En vías arteriales con velocidades de diseño mayores o iguales a 30 km/h, el peralte máximo debe ser 4% cuando el control de accesos es limitado o nulo y no existen separadores que delimiten las calzadas vehiculares. También se acepta del 6% si existen separadores que permitan absorber diferencias de altura y si se presenta un control de accesos parcial. Así, se podría por ejemplo diseñar las calzadas rápidas de un corredor arterial con 6% y las de servicio con 4%.**
- **En puentes, túneles o corredores segregados verticalmente, con control total de accesos puede utilizarse peralte máximo del 8%, cuándo el radio de la curva tienda al mínimo según la velocidad de diseño.**
- **En vías con velocidades inferiores a 30 km/h todo se maneja con bombeo normal.**

2.1.2 Radio mínimo en vías arteriales e intermedias

El mínimo radio de curvatura R_{min} puede ser calculado directamente de la ecuación simplificada de equilibrio:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(0.01e_{max} + f_{max})}$$

La siguiente tabla resume los radios mínimos para los coeficientes de fricción máximos calculados por (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011):

Tabla 4. Radios mínimos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos

		Radio Mínimo Redondeado		
Velocidad de Diseño Km/h	**f_{max}**	**e_{max}= 4%**	**e_{max}= 6%**	**e_{max}= 8%**
30	0.28	22	21	20
40	0.23	47	43	41
50	0.19	86	79	73
60	0.17	135	123	113
70	0.15	203	184	168
80	0.14	280	252	229
90	0.13	375	336	304
100	0.12	492	437	394
110	0.11	NA	560	501
120	0.09	NA	756	667

Fuente: Elaboración propia con base en (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011).

2.1.3 Grado de curvatura máximo

El peralte está asociado al Grado de Curvatura Máximo G_{max}, dado que entre mayor sea la curvatura, mayor será la exigencia de peralte, en función de la siguiente ecuación.

$$G_{\max} = \frac{180 * c}{\pi * R_{\min}}$$

Así es necesario hallar para cada radio mínimo calculado anteriormente, el grado de curvatura máximo con una cuerda unitaria (c) de 10 m. Los valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Grados de curvatura máximos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos

		Grado de Curvatura Máximo		
Velocidad de Diseño Km/h	**f_{max}**	**e_{max}= 4%**	**e_{max}= 6%**	**e_{max}= 8%**
30	0.28	25.87	27.49	29.11
40	0.23	12.28	13.19	14.10
50	0.19	6.69	7.28	7.86
60	0.17	4.24	4.65	5.05
70	0.15	2.82	3.12	3.42
80	0.14	2.05	2.27	2.50
90	0.13	1.53	1.71	1.89
100	0.12	1.16	1.31	1.46
110	0.11	0.90	1.02	1.14
120	0.09	0.66	0.76	0.86

Fuente: Elaboración propia.

2.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

Con la fórmula que se relaciona a continuación, se calcula el peralte para las velocidades dadas, los peraltes máximos y los radios probables:

$$e = e_{\max} - e_{\max} * \left(\frac{G_{\max} - G}{G_{\max}} \right)^2$$

Los resultados a utilizar en el diseño geométrico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Tasas de peraltes para determinados radios, velocidades y peraltes máximos

TASA DE PERALTE PARA DIFERENTES RADIOS, VELOCIDADES DE DISEÑO Y PERALTES MAXIMOS																															
R	G(a)	emax=4%										emax=6%										emax=8%									
m		Vd=30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
3000	0,191	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,03	2,64	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,45	3,16
2500	0,229	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,30	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,39	3,08	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,32	2,89	3,70
2000	0,286	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,14	2,73	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,34	2,89	3,68	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,25	2,84	3,51	4,45
1500	0,382	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,19	2,67	3,30	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,38	2,99	3,65	4,52	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,26	2,91	3,65	4,45	5,53
1400	0,409	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,32	2,81	3,43	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,53	3,16	3,84	4,73	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,40	3,09	3,87	4,70	5,81
1300	0,441	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,46	2,95	3,57	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,10	2,70	3,36	4,06	4,95	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,57	3,30	4,11	4,98	6,10
1200	0,477	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,11	2,61	3,11	3,70	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,26	2,89	3,58	4,30	5,18	2,00	2,00	2,00	2,00	2,08	2,76	3,54	4,39	5,29	6,42
1100	0,521	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,26	2,78	3,29	3,83	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,43	3,10	3,82	4,56	5,41	2,00	2,00	2,00	2,00	2,25	2,98	3,81	4,70	5,63	6,76
1000	0,573	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,44	2,97	3,47	3,93	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,64	3,35	4,10	4,84	5,64	2,00	2,00	2,00	2,00	2,46	3,25	4,12	5,06	6,01	7,11
900	0,637	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,10	2,64	3,18	3,65	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,20	2,89	3,64	4,42	5,15	5,85	2,00	2,00	2,00	2,00	2,70	3,55	4,49	5,47	6,43	7,46
800	0,716	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,31	2,87	3,41	3,83		2,00	2,00	2,00	2,00	2,44	3,18	3,98	4,77	5,46	5,98	2,00	2,00	2,00	2,11	3,00	3,93	4,92	5,94	6,89	7,78
700	0,819	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,56	3,14	3,65	3,97		2,00	2,00	2,00	2,00	2,74	3,54	4,37	5,16	5,76		2,00	2,00	2,00	2,38	3,37	4,38	5,44	6,47	7,36	7,98
600	0,955	2,00	2,00	2,00	2,00	2,25	2,86	3,44	3,87	3,99		2,00	2,00	2,00	2,21	3,11	3,98	4,84	5,56	5,97		2,00	2,00	2,00	2,74	3,85	4,94	6,05	7,05	7,78	
500	1,146	2,00	2,00	2,00	2,00	2,59	3,23	3,75	4,00			2,00	2,00	2,00	2,59	3,60	4,52	5,35	5,91			2,00	2,00	2,16	3,22	4,47	5,65	6,77	7,64	8,00	
400	1,432	2,00	2,00	2,00	2,24	3,03	3,64	3,98				2,00	2,00	2,13	3,13	4,25	5,18	5,84	5,95			2,00	2,00	2,65	3,89	5,30	6,54	7,54	8,00		
300	1,910	2,00	2,00	2,00	2,79	3,58	3,98					2,00	2,00	2,74	3,92	5,10	5,85	5,92				2,00	2,02	3,42	4,90	6,45	7,55	8,00			
250	2,292	2,00	2,00	2,27	3,15	3,86						2,00	2,00	3,18	4,46	5,58	6,00					2,00	2,39	3,99	5,61	7,13	7,94				
200	2,865	2,00	2,00	2,69	3,58	4,00						2,00	2,32	3,79	5,12	5,96						2,00	2,92	4,77	6,50	7,79					
180	3,183	2,00	2,00	2,90	3,75	3,93						2,00	2,55	4,10	5,40	6,00						2,00	3,20	5,17	6,90	7,96					
160	3,581	2,00	2,00	3,13	3,90							2,00	2,82	4,45	5,68							2,00	3,55	5,63	7,32	7,98					
140	4,093	2,00	2,22	3,40	3,99							2,00	3,15	4,85	5,91							2,09	3,97	6,16	7,71						
120	4,775	2,00	2,51	3,67	3,94							2,00	3,56	5,29	6,00							2,41	4,50	6,77	7,98						
100	5,730	2,00	2,86	3,92	3,51							2,24	4,08	5,73								2,84	5,18	7,41	7,86						
110	5,209	2,00	2,67	3,80	3,79							2,06	3,80	5,52								2,61	4,82	7,09	7,99						
100	5,730	2,00	2,86	3,92	3,51							2,24	4,08	5,73								2,84	5,18	7,41							
90	6,366	2,00	3,07	3,99								2,46	4,39	5,91								3,12	5,59	7,71							
80	7,162	2,00	3,31	3,98								2,72	4,75	6,00								3,45	6,06	7,94							
70	8,185	2,13	3,56									3,04	5,14									3,87	6,59	7,99							
60	9,549	2,41	3,80									3,44	5,54									4,39	7,17								
40	14,324	3,20	3,89									4,62	5,96									5,94	8,00								
30	19,099	3,73										5,44										7,05									
20	28,648	3,95										5,99										8,00									
10	57,296																														

Fuente: Elaboración propia.

2.3 TRANSICIÓN DEL PERALTE

A lo largo del tramo de carretera que precede al alineamiento curvo, para pasar de una sección con bombeo a otra con peralte, es necesario efectuar un cambio de la inclinación transversal de la calzada. Este cambio no puede efectuarse bruscamente, sino que debe hacerse a través de una variación gradual de la pendiente de la calzada. (Carciente, 1980).

Por confort y apariencia, las prácticas actuales recomiendan que la longitud del tramo donde se efectué la transición del peraltado, debe ser tal que la pendiente del borde exterior de la plataforma, relativa al eje de la misma, no debe ser superior a 1:250 (Carciente, 1980). En función de la velocidad de diseño, las siguientes deben ser las máximas pendientes relativas:

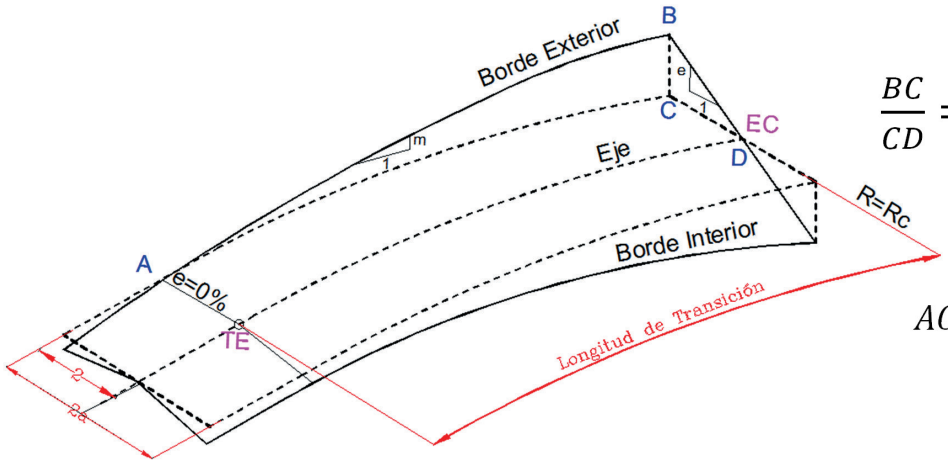
Tabla 7. Máximas pendientes relativas

Velocidad de Diseño km/h	mpr max
30	1:133
40	1:143
50	1:154
60	1:167
70	1:182
80	1:200
90	1:213
100	1:227
110	1:244
120	1:250

Fuente: Elaboración propia con base en (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011).

La consideración de las pendientes relativas permite establecer la longitud de la transición del peraltado, la cual será proporcional al peralte.

Figura 8. Cálculo de la longitud de transición



$$\frac{BC}{CD} = \frac{e}{1} \quad \frac{BC}{AC} = \frac{m}{1}$$

$$AC = \frac{BC}{m} = \frac{eCD}{m}$$

$$Lt = \frac{ea}{m}$$

Fuente: Elaboración propia.

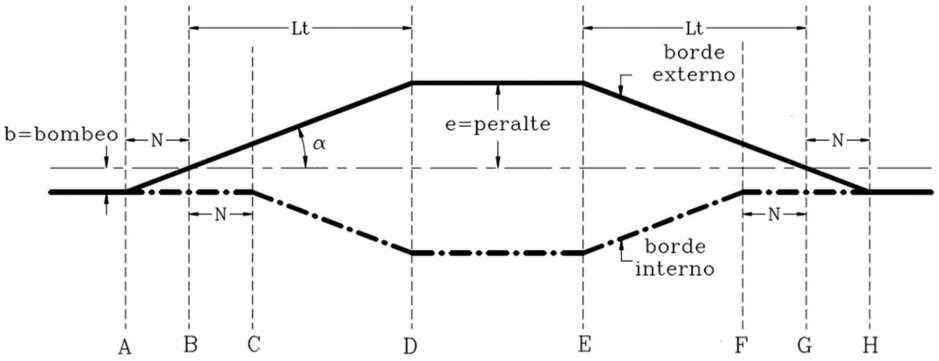
De la fórmula anterior, la pendiente m, es una medida relativa de la pendiente que se eleva, por unidad de longitud y por lo tanto:

$$\Delta H = e_{max} a \qquad m = \frac{\Delta H}{Lt} \qquad mpr = \frac{1}{m}$$

La variable *a,* hace referencia a la distancia mayor desde el eje de diseño hasta uno de los bordes de la calzada.

La siguiente figura muestra un diagrama de peralte típico:

Figura 9. Diagrama de peraltes típico



$\frac{Lt}{N} = \frac{e}{b}$

N= Transición requerida para el bombeo (m)
e = Peralte de la curva (%)
b = Valor del bombeo (%)
Por lo tanto: Lt= Longitud de transición (m)

$$\boxed{N = \frac{b.Lt}{e}}$$

Fuente: (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

Debe tenerse presente que el bombeo normal en tramo recto no debe ser inferior al +-2%. Además, la selección del esquema de bombeo dependerá de los condicionamientos del drenaje superficial y de los requerimientos urbanísticos al manejo transversal y altimétrico de las calzadas. En el área urbana no existe la libertad con la que se cuenta a nivel rural para independizar las calzadas; en este caso, deben usarse los separadores para absorber la diferencia de altura entre calzadas dejándolos tan horizontales como sea posible para favorecer los cruces peatonales, a no ser que, por el contrario, se pretenda evitar el tránsito transversal de peatones.

2.3.1 Concatenaciones E-C-E

Cuando el proyecto ha empleado curvas de transición, la transición del peraltado se realiza conjuntamente con la de la curvatura. En todo caso, debe verificarse el cumplimiento de las pendientes relativas máximas de la Tabla 7, en función de la velocidad de diseño y cuando la longitud de espiral seleccionada represente una pendiente mayor, debe asumirse la recomendada y recalcular con este valor, la longitud de transición; que en este caso sería menor que la longitud de espiral.

2.3.2 Concatenaciones E-E

El proceso es semejante al que se realiza en concatenaciones E-C-E, pero la longitud de transición debe ajustarse, sin afectar la pendiente relativa, para garantizar que la zona de aplanamiento del peralte, o distancia DE en la Figura 9, permita recorrer por 3 segundos la zona de peralte máximo, a la velocidad de diseño.

2.3.3 Concatenaciones C

En los casos en que no se emplean curvas de transición, la transición del peraltado se realiza en la tangente y parte de la curva circular. Se recomienda distribuir 2/3 de la longitud en la tangente y 1/3 en la curva circular, de manera que la curva comienza con 2/3 del peralte.

3. PARÁMETROS Y CRITERIOS DEL DISEÑO DE SECCIONES TRANSVERSALES

Una sección transversal incluye diferentes componentes apreciables en función de un plano dispuesto perpendicularmente al eje, en un punto cualquiera del trazado. El diseño de secciones transversales hace parte integral del diseño de un proyecto vial, pues en conjunto con la planta y el perfil, permiten la visualización tridimensional de la infraestructura, mediante la incorporación de elementos del diseño geométrico como la inclinación transversal para garantizar la seguridad en curva y el drenaje superficial. El valor agregado en el diseño de las secciones transversales radica en la incorporación de las zonas peatonales, de ciclousuarios, la señalización, el mobiliario urbano, obras de drenaje, y en general el esquema de integración a la estructura urbana de la zona. Además facilitan la cuantificación de las cantidades de obra.

En este sentido, la visualización de la sección transversal permite conocer las características físicas de la vía y de su entorno, sumado a esto la sección determina la capacidad de la vía e influye notablemente en la percepción que el conductor tiene de la misma, estimulándolo a ir a mayor velocidad u obligándolo a reducirla. Cabe anotar que como se ha visto en capítulos anteriores la selección de las dimensiones de la sección transversal atiende a controles primarios del POT estudios de capacidad y nivel de servicio, análisis urbanos y de uso del suelo, seguridad vial, entre otros aspectos; no obstante, este capítulo condensará algunas recomendaciones desde el diseño geométrico y la seguridad vial, para cada uno de los elementos de la sección transversal.



SECCIONES TRANSVERSALES

- **En la sección transversal de una vía urbana se precisan las funciones de la vía, la capacidad esperada y su nivel de integración con el entorno.**
- **La sección de una vía urbana debe responder a tres solicitudes simultáneamente: por una parte debe acoplarse de la mejor manera posible al entorno sobre el cual se desarrolla, por otra, debe seguir las especificaciones establecidas de acuerdo a su jerarquía, en pro de su vocación y del modelo de ocupación territorial y el plan de movilidad; y por último, debe ser diseñada bajo criterios de seguridad vial.**

3.1 CRITERIOS QUE INFLUYEN EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Como ya se mencionó, la sección trasversal de una vía urbana debe contemplar numerosos factores que afectan o intervienen directamente en sus especificaciones. Dentro de los criterios más importantes se resaltan los siguientes:

- Jerarquía vial y velocidad del proyecto. El tipo de vía que se planea construir según reglamentación urbana (POT, Plan Vial y Plan de Movilidad, véase Tabla 8) y la velocidad de diseño de la misma, permite conocer las dimensiones reglamentadas, la disposición de las calzadas, y los anchos de las mismas. Basado en (MOPT, 1992).
- Tráfico. Como es bien sabido, el número de carriles que constituyen la calzada vehicular en una vía urbana, influye directamente en la capacidad de la vía y en su nivel de servicio. También es importante conocer el tipo de tráfico que circula por la vía, para determinar los anchos mínimos de los carriles (MOPT, 1992), el modelo de ocupación del territorio y los usos del suelo. Estudios de densidad urbana y gestión de suelo pueden incidir en mayores requerimientos de capacidad y consiguientes modificaciones a la sección transversal, en casos de intersecciones. Análisis urbanísticos vinculados, por ejemplo, al efecto barrera pueden exigir la incorporación de vías de servicio bidireccionales, con determinados aislamientos respecto a las calzadas principales, y tratamientos peatonales especiales.
- Gradualidad en los planteamientos, en función de las necesidades de ampliación o modificaciones futuras, todo, de acuerdo con el POT vigente.

3.2 ELEMENTOS DE DISEÑO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

A nivel urbano las secciones transversales pueden incluir:
Zonas vehiculares, entre bordes de vía:

- Calzadas
  De servicio
  Principales
  Solo Bus
  Ciclorruta
- Separadores
  Laterales
  Centrales
- Taludes, terraplenes o muros de contención

Zonas de circulación exclusiva

- Carriles exclusivos para Transporte Público
- Estaciones de Transporte Público sobre separador central

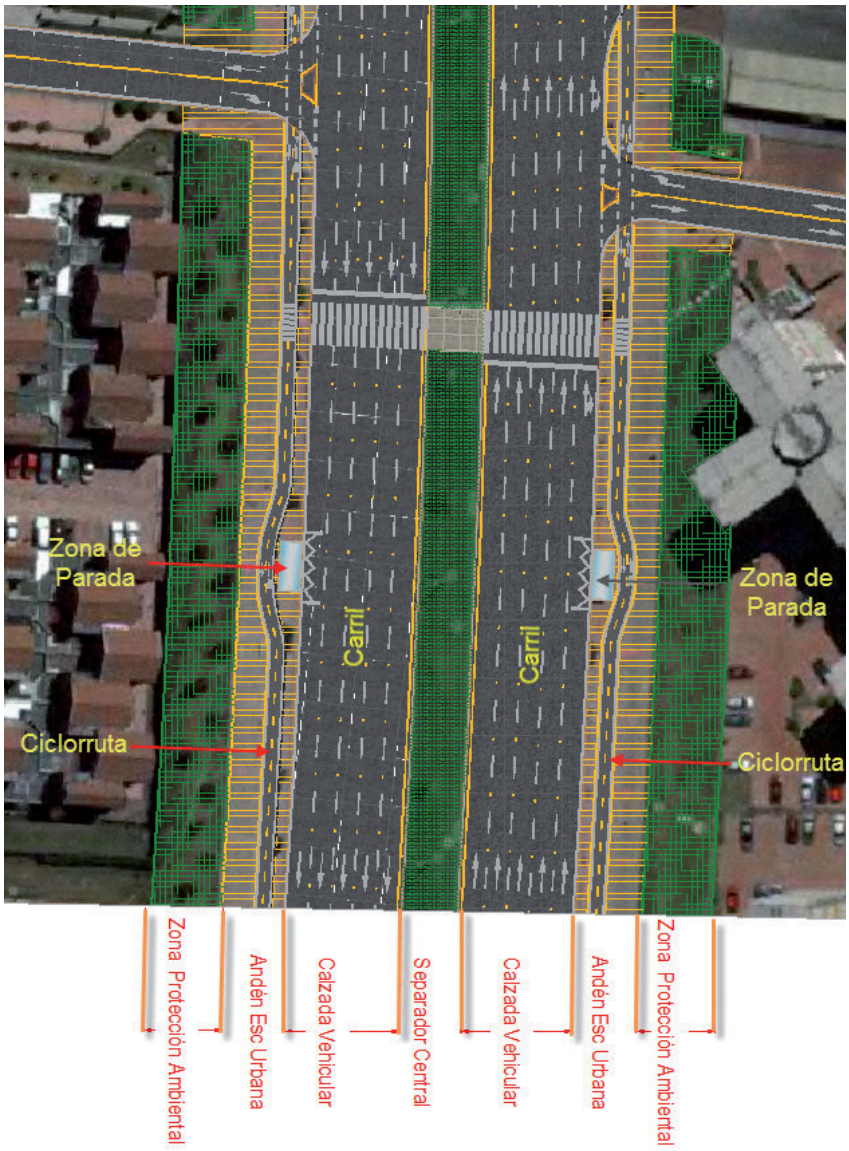
Zonas Laterales: entre borde vía y paramento:

- Zonas de Protección Ambiental
- Andenes
- Ciclorrutas
- Zonas abordadoras
- Zonas verdes

Zonas Complementarias

- Paraderos o Zonas de ascenso y descenso de pasajeros laterales
- Estacionamientos

Figura 10. Elementos de las secciones transversales urbanas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Parámetros reglamentados por el POT en Secciones Transversales urbanas según el perfil vial

JERARQUIA VÍAL	PERFIL POT		"ANCHO TOTAL (m) (Mín)"	"SEP CENTRAL (m) (Min)"	"SEP LATERAL (m) (Min)"	ANCHO ANDEN (m) (Min)	"# CARRILES TRAFICO MIXTO (Min)"	ANCHO CARRIL TRAFICO MIXTO (m) (Max)	ESPECIFICACIONES METRO	NUMERO CARRILES TM (Max)	ANCHO CARRIL TM (Max)	ANCHO CICLORUTA (m) (min)	CONTROL AMBIENTAL (m) (Min)
MALLA ARTERIAL COMPLEMENTARIA Y MALLA ARTERIAL PRINCIPAL	V0	V0A	100	13	6,5	13,5	4	3,5	NA	NA	NA	2,5	10
		V0B							NA	4	3,5		
		V0C							Según diseño	NA	NA		
		V0D							Según diseño	NA	NA		
	V1	V1A	60	5	1,8	8	4	3,25	NA	NA	NA	2,5	10
		V1B		5	1,2				NA	4	3,5		
		V1C		6	1,3				Según diseño	NA	NA		
		V1D		5,4	1				Según diseño	4	3,5		
	V2	V2A	40	5	-	7	4	3,25	NA	NA	NA	2,5	10
		V2B	42	5	0,5	3,5			NA	4	3,5		
		V2C	40	6,5	-	5			Según diseño	NA	NA		
		V2D	42	5	0,5	3,5			Según diseño	4	3,5		
	V3	V3A	31	3	-	3,5	4	3,25	NA	NA	NA	2,5	10
		V3B	32	5	-				NA	4	3,5		
		V3C	31	3	-				Según diseño	NA	NA		
		V3D	34	5	-				Según diseño	4	3,5		
MALLA VIAL INTERMEDIA	V4	V4	25	3	-	4,5	4	3,25	NA	NA	NA	NA	NA
		V4*	25	3	-	4,5	4	3,25	NA	NA	NA	2,4	NA
		V4A	22	NA	-	6,5	2	3,25	NA	NA	NA	NA	NA
		V4A*	22	NA	-	5	2	3	NA	NA	NA	2,4	NA
	V5	V5	18	NA	NA	4,5	2	3	NA	NA	NA	NA	NA
		V5*	18	NA	NA	2,5	2	3	NA	NA	NA	NA	NA
	V6	V6	16	NA	NA	4,75	2	3,25	NA	NA	NA	NA	NA
MALLA VIAL LOCAL	V7	V7	13	NA	NA	3,25	2	3,25	NA	NA	NA	NA	NA
	V8	V8	10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	V9	V9	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

* Con ciclorruta

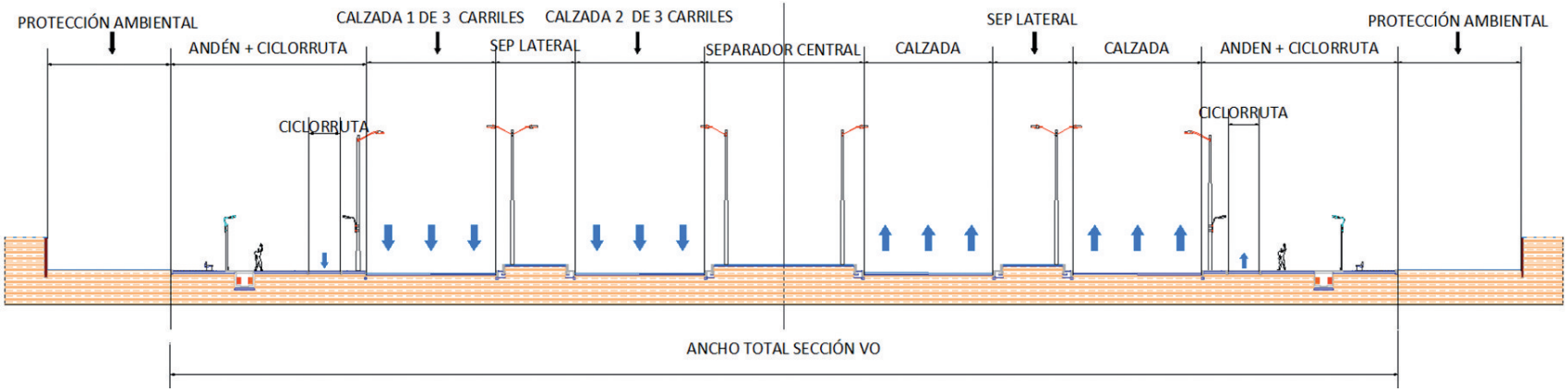
** Unidireccional

Fuente: Elaboración propia con base en POT, Decreto 190 del 2004.

Nota: El documento Técnico de soporte del POT 2013 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Secretaría de Planeación, 2012) prevé algunas modificaciones a los perfiles V3, adicionando la jerarquía V3E y generando condicionantes para sectores desarrollados y sin desarrollar. Esto deberá tenerse en cuenta una vez sea adoptado por decreto para Bogotá D.C.

A continuación se muestra una sección transversal en la que se resaltan sus componentes en función de las dimensiones y conceptos expuestos en la tabla anterior:

Figura 11. Elementos de las secciones transversales



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Calzadas vehiculares

D

CALZADA VEHICULAR

Es una franja física y geométricamente definida mediante un eje en planta, una rasante, peraltes y un ancho total determinado por el ancho y cantidad de carriles y las dimensiones de las bermas (las bermas solo aplican para el caso de Autopistas Urbanas). Su función es soportar un determinado tráfico vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros.

Las calzadas comúnmente están formadas por dos o más carriles, aunque bajo determinadas excepciones pueden constar solo de un carril, dependiendo de la longitud, el tráfico y la necesidad de adelantamiento.

Así mismo, las calzadas pueden considerarse bidireccionales o unidireccionales. El primer caso atiende a la situación en la que los flujos pueden circular en ambos sentidos, sin que exista separación física de los mismos. El segundo, se refiere a circulación en un único sentido.

A continuación se describen los componentes de las calzadas vehiculares: carriles y bermas.

3.2.1.1 Carriles de circulación

Los carriles son las franjas en las que se puede subdividir una calzada para permitir el tránsito de una fila de vehículos circulando en un sentido.

R

CARRILES DE CIRCULACIÓN

- **Los carriles de circulación corresponden al área destinada para el tránsito exclusivo de los vehículos.**
- **El número y ancho de los carriles está directamente relacionado con la clasificación funcional de la vía según el POT o el Plan Vial, en donde se establecen los valores mínimos. Los factores de tránsito, urbanismo y seguridad vial pueden conducir a ampiaciones de dichas especifiacciones.**
- **De acuerdo a lo anterior, el POT de la ciudad de Bogotá, establecen que el ancho mínimo para los diferentes tipos de vías vehiculares del sistema vial será de 3.0 m, mientras en los carriles derechos con tránsito de camiones será de 3.25 metros como mínimo. (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, 2004). Además, si se están diseñando carriles exclusivos para transporte público, el ancho recomendado es de 3.5 metros como mínimo.**

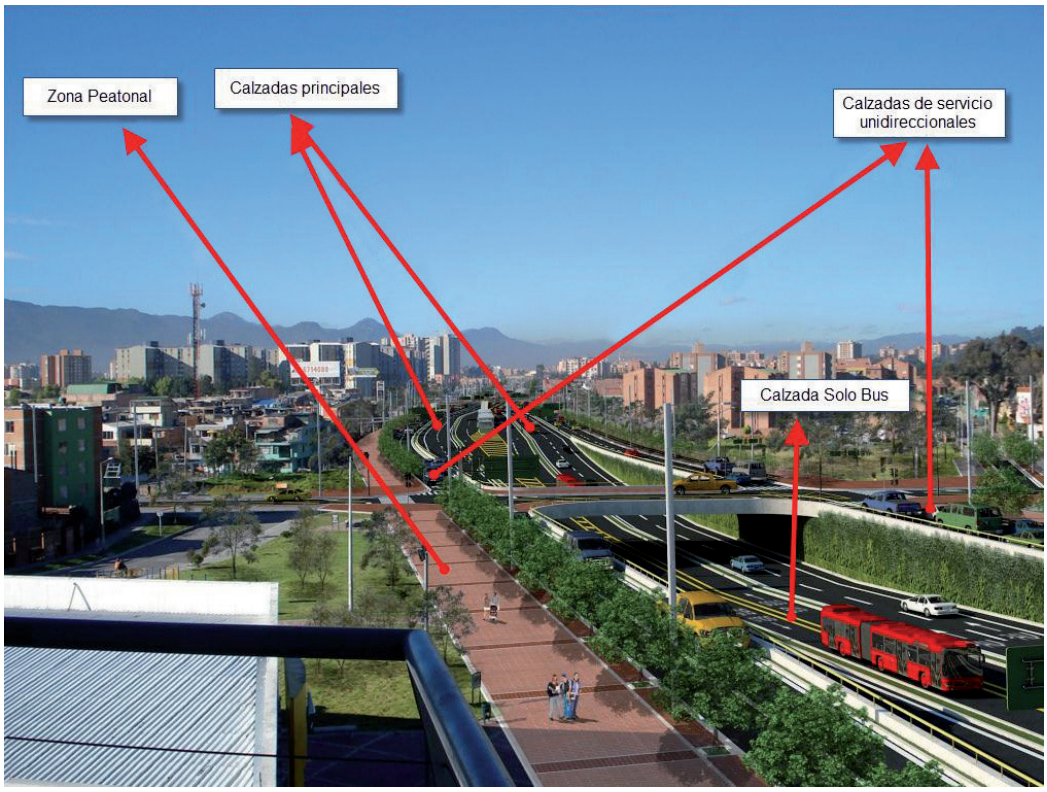
En relación con los **tipos de calzada,** se pueden resaltar básicamente las siguientes, en función de su vocación: principales, de servicio, complementarias y solo bus.

- Calzadas Principales: son aquellas destinadas al tránsito vehicular en general, con las restricciones de tráfico que impone la vocación de la vía. En vías de varias calzadas, corresponden

a las más rápidas, con control parcial o total de accesos. Para efectos de diseño, se abscisan en una sola dirección, independientemente del sentido del flujo.

- Calzadas de Servicio: corresponden a vías paralelas, por lo general, a las calzadas principales, cuya velocidad de diseño no debe ser mayor a 40 Km/h ni la reglamentaria mayor a 30 km/h. Adicionalmente, deben estar dispuestas cuando se cumpla alguna de las siguientes condiciones: (I) El acceso al centro generador de tránsito se realiza por una vía arterial. (II) Cuándo la restricción o control de accesos genera efectos barrera y se requieren vías para garantizar accesibilidad y conectividad. (III) Cuándo las demandas y los niveles de servicio deseables lo exigen. En el caso II, pueden ser bidireccionales para otorgar mayor fluidez y poder generar conexión entre los dos costados de la sección transversal. Las calzadas de servicio, pueden estar en un nivel diferente al de las calzadas principales, generalmente al mismo en el que se encuentren los flujos peatonales, las zonas de estacionamiento, así como las de ascenso y descenso de pasajeros. Al igual que en el caso anterior, el abscisado en este tipo de calzadas, va también en un solo sentido, independientemente del sentido del flujo. La siguiente imagen muestra un ejemplo de configuración de calzadas de servicio:

Figura 12. Calzadas de servicio en sección encajonada



Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos, Sociedad Cabal Arquitectos, MoBilé S.A.

- Calzadas complementarias: corresponden a calzadas paralelas a las principales, que aparecen y desaparecen en la zona de influencia directa de las intersecciones, para generar la recolección y conexión de las diferentes corrientes vehiculares a las rampas y enlaces. El abscisado de este tipo de calzadas puede coincidir con el sentido de circulación vehicular.

- Calzadas solo bus: son aquellas con tránsito exclusivo de buses de transporte público colectivo o masivo, pueden ser centrales o laterales dependiendo del sistema de ascenso y descenso a los buses, es decir, puerta derecha, puerta izquierda, o ambas. Independientemente de que se segreguen del tránsito mixto mediante un separador físico o mediante tachas; deben contar con un eje de diseño independiente debido a dos situaciones: La dependencia transversal de otras calzadas podría afectar la accesibilidad a predios o los esquemas de drenaje superficial, además, requiere de tratamientos especiales por ejemplo en zona de estaciones, en donde los bordes de calzada adjuntos a la estación deben ser completamente horizontales longitudinal y transversalmente.

La geometría longitudinal en planta y perfil de los carriles de circulación, está definida por el eje de diseño, su localización depende de la cantidad de carriles que tenga la calzada, esto para implementar una distribución favorable de la inclinación transversal de la misma. Cuando las calzadas tengan más de dos carriles, el eje de diseño debe localizarse por una de las líneas de demarcación de carril y drenar de la siguiente manera: para 3, carriles 2 hacia un costado y 1 hacia el otro, 4 carriles 2-2 y 5 carriles 3-2. Para los casos unidireccionales, siempre deberá existir un eje de diseño por calzada; a nivel urbano no se aceptan ejes de diseño por separador para el manejo conjunto de calzadas. En calzadas bidireccionales, el eje de diseño coincidirá con la línea de demarcación que separa los sentidos de circulación. Véase Tabla 1 de este capítulo.

La pendiente transversal en tramos rectos (Bombeo Normal BN) debe ser de 2%, como mínimo, y máximo de 3%[3], para garantizar el drenaje superficial y la eliminación de fenómenos de hidroplaneo en épocas de lluvia. Por su parte, los tramos curvos deben incluir el peralte de acuerdo con las especificaciones del subcapítulo 2. PERALTES.

Un tema de especial consideración es la **transición de anchos de calzada** que puede presentarse por cualquiera de las siguientes condiciones:

a. Variación del número de carriles.
b. Variación del ancho de carril en recta.
c. Transición a zonas con sobreancho.

Todos los casos anteriores requieren efectuar una transición de forma normalizada, segura, estética, cómoda y funcional. Las variables básicas a considerar dependen de la longitud de transición y la variación del ancho. A continuación se describen las metodologías de diseño para cada caso (MINVU, 2009):

3 Máximo 3% en bombeo normal se puede utilizar para el empalme de las conectantes, cuando la vía está en ladera y la pendiente transversal del terreno no facilita el bombeo normal del 2%.

a. Variación del número de carriles

Inicialmente se debe determinar la longitud a la cual se debe hacer la transición en función de la velocidad de diseño, discriminando si el carril aparece o desaparece. Para esta situación aplican los mismos criterios de longitud de cuña que se consideran en los procesos de aceleración y desaceleración.

Tabla 9. Longitudes de transición para aparición y desaparición de carriles

VELOCIDAD ESPECÍFICA EN LA ZONA DE REDUCCIÓN TRANSICIÓN (km/h)	LONGITUD DE TRANSICIÓN MÍNIMA (m)*
<=50	45
60	55
70	60
80	65
90	70
100	75
110	85
120	90

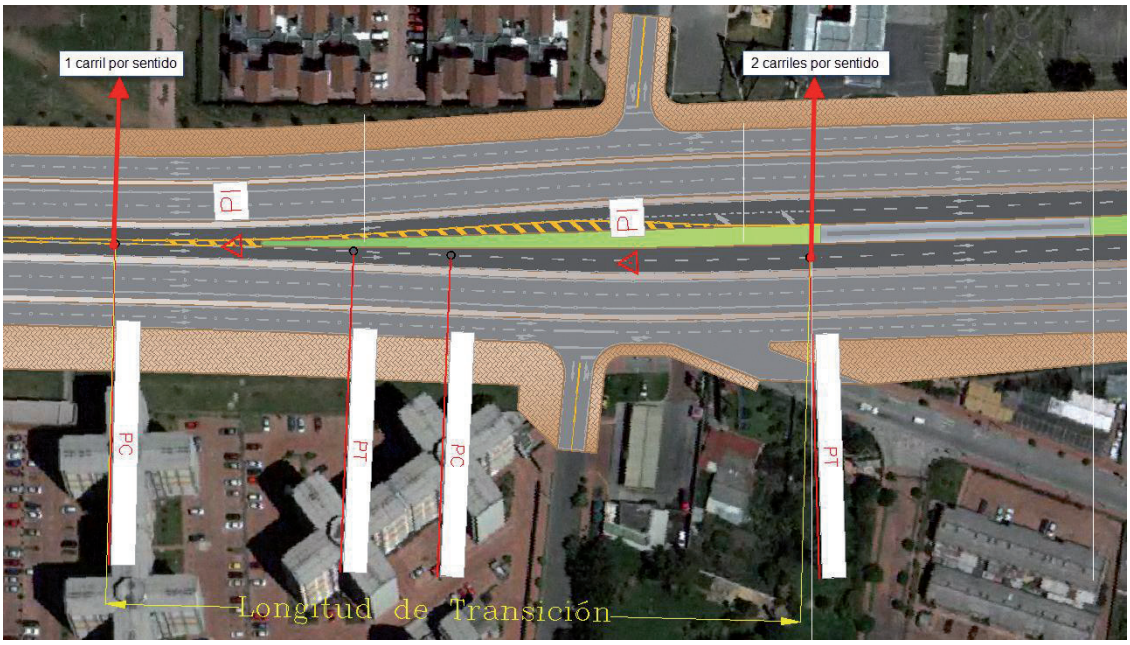
* Esta longitud es válida cuando la transición implica un cambio en el ancho de la sección transversal igual al ancho del carril que se elimina o se agrega. Cuando la sección se modifique por otras consecuencias como cambios en el ancho del separador, la longitud de transición aumenta proporcionalmente.

Fuente: Elaboración propia con base en (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

Geométricamente la transición se construye insertando dos Puntos de Inflexión (PI) adicionales[4]. Como las deflexiones suelen ser pequeñas, se conforman concatenaciones circulares dejando una entretangencia que permita garantizar la transición del peralte de las dos curvas que se generan (Véase Figura 13). Cuando la transición implica además de la aparición o desaparición de un carril, cambios en el ancho de los separadores centrales o laterales, las transiciones se alargan según lo expuesto en la nota de la Tabla 9 y pueden llegar a requerir espiralización en función del ángulo de deflexión que se genere en la transición.

4 Aplica solo en tramo recto, pues en tramo curvo podría requerirse solo un PI adicional.

Figura 13. Variación del número de carriles y cambios adicionales en el ancho de la sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

Otros ejemplos de variación del ancho de la sección transversal derivado de cambios en el número de carriles se presenta en zonas de convergencia y divergencia. Los modelos al respecto se presentarán en el Capítulo 4.

b. Variación del ancho de carril en recta

Cuando simplemente se da un cambio del ancho de los carriles, la longitud de transición deberá ser tal que se garanticen deflexiones de la transición iguales o menores a 2º, por lo tanto, podrán dejarse los vértices como Puntos de Quiebre PQ.

c. Transición a zonas con sobreancho

Se realiza haciendo uso de la trayectoria del vehículo de diseño y, utilizando la concatenación por borde que mejor se acomode a la trayectoria vehicular.

3.2.1.2 Intercambiadores de calzada

D

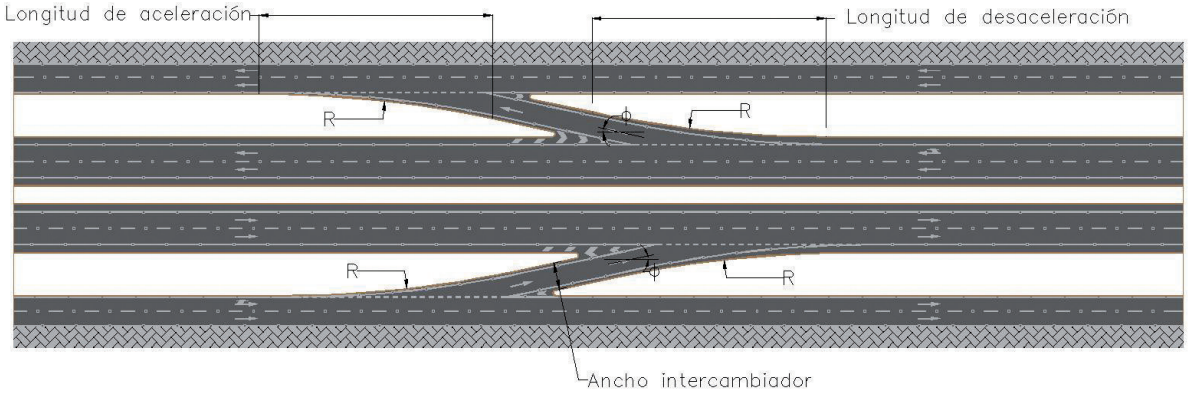
INTERCAMBIADOR DE CALZADA

Un intercambiador de calzada es una apertura en el separador que divide dos zonas vehiculares, cuya función es generar una conexión entre las mismas, ofreciendo una zona de resguardo para los vehículos que realizan el intercambio, incorporando un proceso de desaceleración, aceleración e incorporación, el cual debe realizarse de forma canalizada y segura.

Para realizar el diseño geométrico de los intercambiadores de calzada se debe partir de las velocidades específicas en las zonas de origen y destino del intercambiador, así el análisis de las velocidades específicas será el insumo inicial para determinar la necesidad de que el intercambiador posea carriles de aceleración, desaceleración o en su defecto, solo cuñas de incorporación, bajo la metodología de proyección geométrica de convergencias y divergencias expuesta en el Capítulo 4 de la presente Guía.

A nivel urbano, los intercambiadores, desde las calzadas rápidas a las de servicio, o viceversa, son fundamentales para garantizar la accesibilidad a las actividades y usos adyacentes al corredor vial; sin embargo, su localización es determinante en temas de operatividad y seguridad de la vía. Por una parte debe revisarse que la ubicación en relación con los accesos y conectantes al corredor, no generen zonas de entrecruzamiento peligrosas; para ello, se deben seguir igualmente los lineamientos y recomendaciones para proyección de zonas de entrecruzamiento, expuestas en el Capítulo 4. De otra parte, en términos operacionales debe garantizarse que la cantidad y localización de los intercambiadores, satisfaga los requerimientos que ofrece la demanda vehicular y los movimientos origen destino en una red. Por lo tanto, es indispensable que, tras la construcción geométrica de los mismos exista una revisión por parte del área de tránsito para evaluar longitudes de cola, zonas de convergencia, divergencia y entrecruzamiento y de esta manera emitir las recomendaciones del caso y generar los posteriores ajustes que se requieran.

Figura 14. Geometría intercambiadores de calzada



Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla resume algunos de los elementos gemétricos a considerar en la construcción de los intercambiadores de calzada.

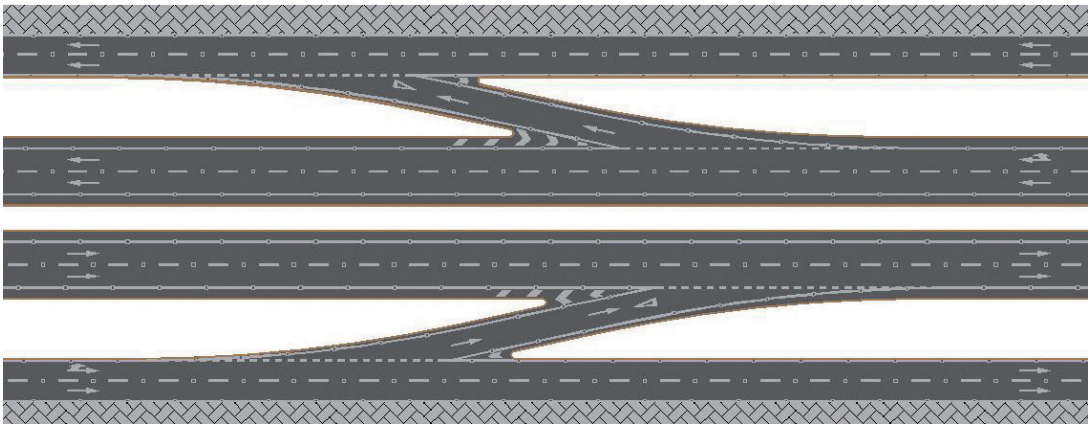
Tabla 10. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de intercambiadores

Geometría	Recomendación
Angulo de deflexión (ϕ)	Se recomiendan ángulos entre 8° y 12°
Ancho del intercambiador	El ancho recomendado para el intercambiador en la zona del separador es de 4.50 m. En esta zona no se permite el adelantamiento, y se señaliza en función de la trayectoria del vehículo de diseño.
Longitud de cuñas y o carriles de aceleración y desaceleración	Están en función de lo establecido en el Capítulo 4 para zonas de convergencia y divergencia.
Ancho de carril de aceleración y desaceleración	Se recomienda que este ancho sea igual a 3.5 m independientemente del ancho del carril adyacente, pues en anchos menores la maniobra de incorporación puede convertirse en invasiva y peligrosa.
Radio de la cuña (R)	Aunque deben revisarse en función de las velocidades específicas, estos están entre 200 y 350 m.
Ancho mínimo del separador central	Este criterio depende en gran medida del ángulo de deflexión seleccionado. En todo caso, el ancho mínimo debe ser tal que en la espera, la parte trasera del vehículo no invada la calzada de origen.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que estas recomendaciones son generales y que cada caso merece un análisis particular, pues el diseño de un intercambiador puede involucrar múltiples variables no expuestas en esta Guía. A manera de ejemplo, a continuación se muestran algunas imágenes que representan alternativas posibles de configuración en intercambiadores de calzada.

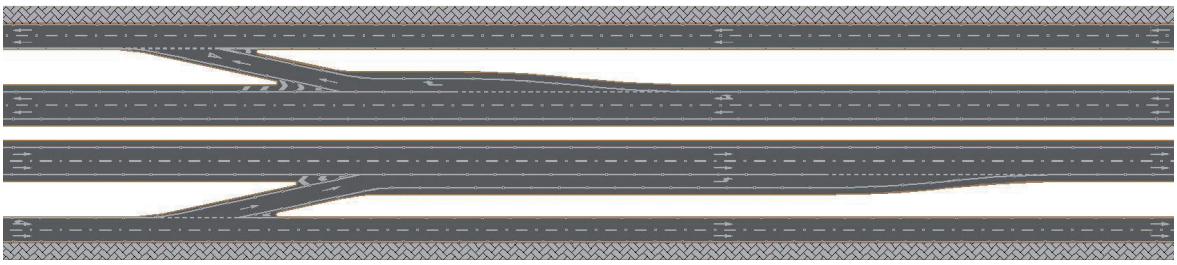
Figura 15. Intercambiadores con cuña y sin carriles de aceleración ni desaceleración



Fuente: Elaboración propia.

Intercambiadores como los que se muestran en la Figura 15 pueden usarse cuando el espacio disponible y las velocidades de las calzadas permiten una transición de velocidades segura con la simple incorporación de las cuñas. Debe tenerse en cuenta que, estos intercambiadores no soportan altos volúmenes de tránsito pues la distancia para acumulación en cola es mínima. Por tanto, deben ser debidamente revisados desde el área de tránsito.

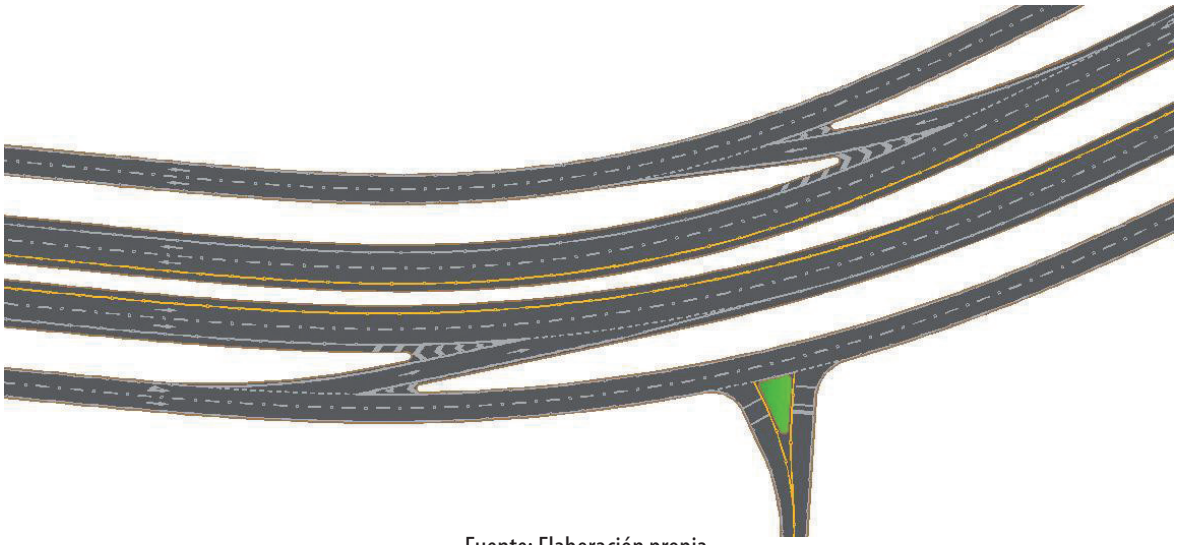
Figura 16. Intercambiador de calzada con carriles de aceleración y desaceleración



Fuente: Elaboración propia.

La figura anterior muestra un ejemplo configurado según los lineamientos para la proyección geométrica de carriles de aceleración y desaceleración, longitudes que pueden ser aumentadas en función de los requerimientos de tránsito para acumulación de vehículos en cola.

Figura 17. Intercambiador de calzada en curva



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 17 muestra un ejemplo con las facilidades geométricas y operacionales de localizar los intercambiadores en curva.

3.2.1.3 Bermas (aplica para Arteriales Regionales, AU y VRU)

Aunque no se acostumbra la demarcación de bermas en corredores de escala urbana, en proyectos de Arteriales Regionales, Autopistas Urbanas y Vías Rápidas Urbanas, su uso es acertado y cumple básicamente con tres funciones: incrementar la capacidad de la vía al generar en el conductor la sensación de amplitud en la sección, albergar vehículos que por razones de emergencia tengan que salirse de la vía principal y así no interrumpir el flujo continuo de la vía, y por condiciones de seguridad vial tendientes a habilitar zonas de desvió en el caso de eventualidades que alteren el tránsito normal.

El ancho de la berma externa debe estar libre de cualquier obstáculo lateral y tener las mismas condiciones de rodadura de la calzada adyacente. En cuanto a las bermas internas, su función es simplemente la de otorgar un mayor gálibo lateral con respecto al separador y disminuir la exposición al riesgo derivada de la posición adyacente entre el separador y/o andén y el carril rápido de la calzada.

Tabla 11. Valores máximos y mínimos recomendados para bermas urbanas

	Berma Externa (m)	Berma Interna (m)
Autopistas Urbanas	1.5 - 2.5	0.6 - 1.0
Vías Rápidas Urbanas	1.0 - 2.0	0.0 - 0.6

Fuente: Elaboración propia.

La pendiente transversal que llevan las bermas, depende de la calzada de las que se derivan, manteniendo siempre la misma pendiente y separándola de la vía solo con señalización (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

3.2.2 Separadores

Los separadores se emplean en vías con varias calzadas, o en los casos donde se pretenda establecer jerarquías en la operación de la vía. Este elemento aumenta la seguridad de los vehículos y además, permite la instalación de barreras de seguridad, iluminación, mobiliario, ciclorrutas, alamedas, vegetación, entre otros, siempre y cuando que no afecten la visibilidad de la vía.

Desde el punto de vista de su ubicación en la sección, existen dos tipos básicos de separadores:

- **Centrales:** son aquellos que separan sentidos opuestos de circulación.
- **Laterales:** son aquellos que separan circulaciones del mismo sentido, resolviendo los conflictos entre el tráfico de paso de las calzadas principales y el local que circula por las vías de servicio.

Por su configuración, pueden clasificarse en:

- **Normales:** es el tipo más frecuente en vías urbanas, que constituyen plataformas situadas por encima de la rasante de la calzada, acondicionadas y normalmente equipadas con bordillos.
- **A nivel:** es habitual en vías locales, constituidas, bien sea por terreno natural con plantaciones y sin bordillos o bien por una franja de calzada con demarcación en el pavimento (Véase Manual de señalización).
- **Barreras:** es el separador mas frecuente en Autopistas Urbanas y Vías Rápidas Urbanas con fuertes condicionantes de espacio disponible, constituidos por un elemento vertical, de diversos materiales, cuyo objetivo es separar circulaciones. Para su implementación; es recomendable un manejo peatonal seguro, que canalice los flujos peatonales a atravesar las calzadas solo en sitios seleccionados para tal fin.

- **Canales longitudinales:** en Bogotá es común que el separador central de un corredor lo constituya un río y/o canal de drenaje natural o revestido. Es necesario tener en cuenta que, por seguridad, este tipo de configuración debe complementarse con barreras de contención y bermas internas mínimas de 0.8 m.

Los siguientes criterios deben ser tenidos en cuenta en el diseño de los mismos:

- Sus dimensiones deben estar acorde con la jerarquía de las vías que separan y como mínimo contar con los requerimientos del POT o el Plan Vial.
- En los casos de emplearse especies vegetales como forma de ornamentación, su tipo y ubicación no debe convertirse en un factor de riesgo de accidentalidad; por consiguiente es importante que permitan una visibilidad total. Así mismo, debe considerarse que el tipo de vegetación seleccionada no genere ningún tipo de afectación sobre la estructura del pavimento.
- Cuando los separadores laterales tengan el ancho mínimo reglamentado por el POT (0.5 m), el diseño geométrico, urbano y de control semafórico debe garantizar que el paso peatonal sea directo, sin resguardo en dichos separadores. No obstante, en caso de que exista tránsito peatonal alto los separadores deben habilitarse como zonas de resguardo peatonal, con un ancho mínimo de 2.0 m, en zonas de intersección.
- Su diseño debe facilitar el drenaje sin generar flujos de agua adicionales sobre las calzadas, y por lo tanto, deben contener zonas duras.
- Los separadores sirven para absorber diferencias de altura entre calzadas; no obstante cuando la diferencia supere 0.5 m deben disponerse elementos de contención vehicular, no solo para garantizar la seguridad vehicular, sino para impedir el tránsito peatonal a riesgo.
- La altura del separador debe ser la misma del sardinel. A nivel urbano, en las intersecciones, donde haya tránsito peatonal, o dentro de los triángulos de visibilidad, no se aceptan montículos de tierra dispuestos en los separadores centrales ni laterales.

3.2.2.1 Criterios para la implementación de separador

Todas las vías Arterias urbanas con velocidad de diseño mayor a 60 km/h estarán provistas de separadores para la canalización de circulaciones. Si existen accesos directos, los separadores laterales definirán vías de servicio.

Se recomienda la utilización de separadores laterales en todas las vías urbanas, con alta intensidad de tráfico e importante proporción de tráfico de paso, cuando atraviesen áreas de alta densidad (grandes áreas de vivienda) o zonas de alta generación de viajes (áreas comerciales, centros terciarios, etc). De lo contrario, vías multicarril sin disposición de separadores se convertirán en barreras urbanas que aumentan la exposición a la accidentalidad y a los conflictos de tipo peatón vehículo.

Los separadores centrales se recomiendan siempre que la cantidad de carriles sea dos o más y que exista tránsito peatonal entre costados de la sección transversal. O cuando las recomendaciones de los estudios de transito proyecten ampliación de carriles a futuro.

Los anchos de separador mínimos reglamentados por el Plan de Ordenamiento Territorial se muestran en la Tabla 8, sin embargo existen algunos condicionamientos:

CONDICIONAMIENTOS EN SEPARADORES

- **Si el separador debe servir de refugio peatonal, el ancho mínimo es de 2.0 m.**
- **En Intersecciones semaforizadas, si se habilita bahía de giro izquierdo el separador debe tener un ancho mínimo de 5.50 m para garantizar un carril de giro de 3.50 m y un separador de 2.00 m. Véase Capítulo 4.**
- **Si el separador incluye estaciones de transporte masivo de mínimo 5.0 m de ancho para estaciones con ascenso y descenso en los dos sentidos, o mínimo 3.5 m para ascenso y descenso por un solo costado. Estos valores son mínimos y en todo caso podrán incrementarse en función de los estudios de tránsito y transporte.**
- **Si el separador dispone de redes eléctricas, el ancho dependerá de los aislamientos por campo magnético legislados en la normatividad vigente.**

3.2.3 Taludes y terraplenes y muros de contención en vías urbanas

En zonas de la ciudad con topografía montañosa u ondulada, propia de localidades como Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Usme y Usaquén, es necesaria la implementación de taludes de corte o terraplenes con el fin de garantizar la estabilidad de la calzada. No obstante, en estos sitios se deberá realizar un análisis detallado de las características geológicas y geotécnicas de la zona el cual servirá de base para determinar las condiciones de estabilidad y variables como la pendiente del talud. En el caso de los terraplenes, su diseño debe considerar pendientes aptas, cobertura vegetal y obras de drenaje, y un manejo estético que reduzca su impacto en los habitantes de sectores cercanos.

En vías urbanas, el uso de muros de contención es habitual debido al menor espacio que se requiere para lograr la estabilización del terreno y de la vía, estos también deben considerar, aspectos urbanísticos, de accesibilidad, seguridad vial, obras de drenaje, etc. A nivel del diseño geométrico, es perentorio que los muros de contención y de separación de calzadas que se encuentran segregadas altimétricamente, cuenten con un guardarruedas de mínimo 0.6 m y/o andén del ancho mínimo recomendado.

3.2.4 Espacio Lateral: Zonas Peatonales, Zonas para Ciclistas y Espacio Libre

Los elementos que componen el contexto urbano como son la infraestructura del espacio público, el equipamiento urbano, el mobiliario y la señalización, deben cumplir con requisitos mínimos que garanticen la movilidad para todos los usuarios del espacio público.

Con el objeto de mejorar la oferta existente de infraestructura para modos no motorizados, se debe incluir, desde las fases iníciales de diseño, los espacios correspondientes y a su vez, tener en cuenta, su relación con los demás modos, en especial al momento en que se generen conflictos en pasos y zonas específicas.

Los modos no motorizados, están representados particularmente en los ciclistas y peatones. En una ciudad como el Distrito Capital de Bogotá, con alto nivel de congestión vehicular, es necesario ofrecerle alternativas de movilidad directa a los ciclousuarios y peatones, con rutas seguras y articuladas con los demás medios de transporte.

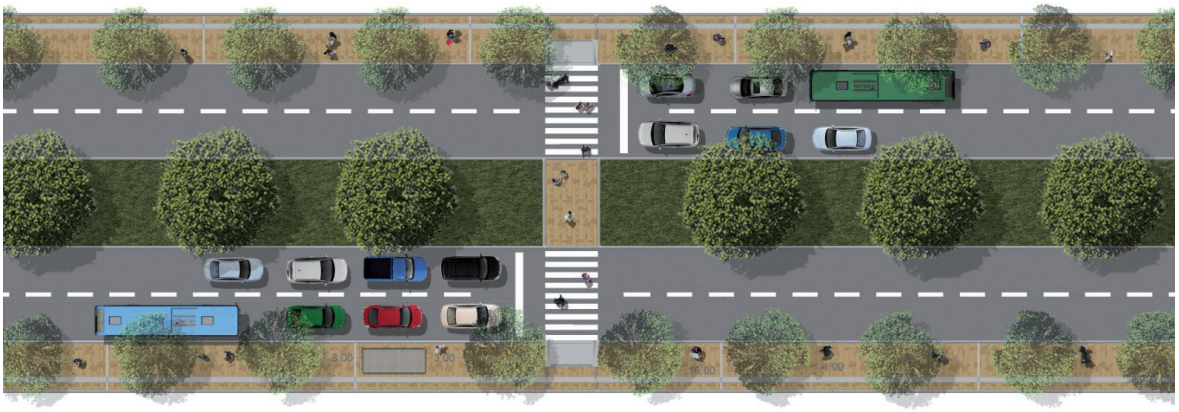
Así, las necesidades de desplazamiento y accesibilidad de los usuarios no motorizados deben ser consideradas de manera integral dentro del diseño geométrico, previendo con antelación la localización y tipo de las facilidades ofrecidas para peatones, movilidad reducida y ciclousuarios, temas que se desarrollan a continuación:

3.2.4.1 Zonas Peatonales

La accesibilidad al espacio público es derecho de todos, se requiere crear condiciones favorables de acceso a cruces, andenes, parques, etc., determina la frecuencia del uso que hacen los usuarios de estos espacios, en especial para aquellas personas que padecen algún tipo de discapacidad permanente o temporal: personas en silla de ruedas, en muletas, con problemas de movilidad, con discapacidad auditiva o visual al igual que las personas que utilizan coches, andadores, bastones, carros de mano o bicicletas. En este sentido, aspectos como el ancho de las circulaciones, las pendientes longitudinales y transversales, la localización del mobiliario urbano y la arborización, aportan además de la claridad y continuidad de la circulación, la posibilidad de una óptima transitividad por el espacio público.

Dentro del conjunto de vías del Distrito Capital de Bogotá, las locales cuentan con flujos peatonales y sirven a viajes de corta distancia, al tiempo que contribuyen a la accesibilidad; esta característica obliga a habilitar cruces peatonales separados según lo indique el estudio de tránsito peatonal. Dicho cruce estará señalizado, semaforizado y visible para todas las personas, en especial para las que presentan alguna discapacidad total, parcial, permanente o temporal. Véase Figura 18.

Figura 18. Cruce peatonal prioritario



Fuente: Elaboración propia.

Esta Guía retoma lo desarrollado en el estudio "Guía práctica de movilidad peatonal urbana -IDU"; en la cual se establecen las características básicas de la accesibilidad, manifestando que ésta debe ser clara, simple y expedita a todos sin distinción alguna; para el efecto, el estudio plantea siete principios aplicables a todos los peatones:

1. **Uso equitativo:** el diseño debe ser útil y conveniente para todas las personas, incluyendo a aquellas que posean alguna discapacidad.
2. **Flexibilidad en el uso:** el diseño debe adaptarse a una amplia variedad de preferencias y capacidades individuales.
3. **Uso sencillo e intuitivo:** el diseño debe ser fácil de entender, independientemente de la experiencia, los conocimientos, las habilidades lingüísticas o el nivel de atención del usuario.
4. **Información perceptible:** el diseño debe comunicar la información necesaria de manera eficaz, independientemente de las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales de los usuarios.
5. **Tolerancia al error:** el diseño debe reducir al mínimo los riesgos y las consecuencias adversas por acciones realizadas sin intención.
6. **Esfuerzo físico reducido:** los elementos diseñados en el contexto urbano deben contemplar el uso eficiente con el mínimo de fatiga.
7. **Tamaño y espacio para usar:** se debe proporcionar el tamaño y espacio adecuados para el uso del diseño, sin importar la postura corporal o el tamaño del usuario.

La aplicación e implementación de estos principios en los proyectos, garantizará los peatones la libre locomoción y desarrollo de sus actividades. Complementariamente, se sugiere tener en cuenta los estándares existentes sobre anchos mínimos para una circulación de peatones. A continuación se presentan los anchos establecidos según el tipo de escala urbana a intervenir, extraídos de (IDU, Instituto de Desarrollo Urbano, 2005) en cualquier caso predomina, como mínimo, lo establecido por el POT en la Tabla 8; valores mayores deberán sustentarse con base en los estudios de tráfico peatonal:

Tabla 12. Clasificación de anchos de andén según escala urbana de implementación

GEOMETRÍA	ESCALA METROPOLITANA	ESCALA ZONAL	ESCALA LOCAL
Ancho min. franja de circulación	13,5 – 7.0 m	7.0 – 4.0	1.5

Fuente: Elaboración propia con base en (IDU, Instituto de Desarrollo Urbano, 2005).

Estos anchos corresponden a las franjas de circulación propiamente dichas. Para zonas de espera, una sola persona en condiciones normales requiere como mínimo un ancho de 0.60 m, dos personas un mínimo de 1.20 m.

Facilidades para personas con movilidad reducida

El tipo de usuarios que requiere la ayuda permanente o eventual de otro usuario, se puede clasificar en los siguientes grupos a saber:

TIPOS DE USUARIOS CON MOVILIDAD REDUCIDA (IDU, 2005)

- **Usuarios ambulantes:** son los que ejecutan movimientos con dificultad y ayudados por aparatos ortopédicos, bastones o similares.
- **Usuarios en sillas de ruedas:** son los que requieren en todo momento el uso de silla de ruedas para sus movimientos o actividades; su mayor dificultad se presenta cuando hay cambios de nivel o peligro de volcamiento, y cuando los pasos son estrechos imposibilitando la transitividad y el giro.
- **Usuarios sensoriales:** son las personas que tienen dificultad por percepción, debido a la limitación sensorial auditiva o visual. Su mayor dificultad se presenta con la identificación de espacios u objetos, percepción de información sonora, obtención de información escrita, determinación de direcciones e itinerarios.
- **Usuarios con síndrome:** por el estrés y caos de la ciudad algunas personas sufren de pánico o vértigo. Su condición, hace que sean tenidos en cuenta en el desarrollo de los proyectos.

En todo caso, personas con condiciones físicas favorables, pero que transiten con coches, maletas, paquetes o cualquier tipo de carga, que presenten lesiones temporales, o que pertenezcan a la tercera edad también podrán considerarse dentro del grupo de peatones que genera condicionamientos especiales al diseño de la infraestructura. En consecuencia, el diseñador deberá facilitar la accesibilidad, pues además de otorgarles seguridad, les permitirá vivir y disfrutar el espacio público, e interactuar con su entorno y con los demás.

Para el caso de los andenes en las franjas de circulación, es recomendable revisar la norma NTC 4279, la cual establece las dimensiones mínimas y las características funcionales y constructivas que se deben cumplir en las franjas y espacios de circulación peatonal con movilidad reducida.

Se destacan de esta publicación los siguientes lineamientos:

- Las superficies de acabado deben ser antideslizantes.
- Cuando hay rejillas o tapas de servicios públicos, los acabados deben ser a nivel del piso acabado, en ningún caso deben sobresalir o ubicarse por debajo de este nivel.
- Cuando se presentan cambios de nivel, se requiere dar continuidad entre los niveles por medio de una rampa.

A continuación, la Tabla 13 resume las dimensiones geométricas mínimas recomendadas para infraestructura que garantice la circulación de personas con movilidad reducida.

Tabla 13. Dimensiones geométricas para garantizar la circulación de personas con movilidad reducida en rampas

Ancho mínimo en rampas: 0.90 m
Posibilidad de giro a 90º, ancho libre 1.5 m
Superficie de aproximación libre de obstáculos: área enmarcada por un radio de 1.2 m.
Pendiente longitudinal Max. 12%, > consultar NTC 4143
Pendiente transversal Max. 2%
Longitud mínima de descansos 1,20 m

Fuente: (INCONTEC, 2009).

3.2.4.2 Espacio para Ciclistas

En el diseño de la ciclo infraestructura, se tendrán en cuenta las recomendaciones desarrolladas por el IDU en estudios previos, (IDU, Instituto de Desarrollo Urbano, 2012) y (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2004), además de las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial vigente (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004) y otras sugerencias derivadas de la revisión bibliográfica internacional, así como de la experiencia en diseño urbano del equipo consultor. En resumen, las principales premisas que se deben considerar son las siguientes:

1. **Coherencia:** integración y conectividad con sí misma y con los demás medios de transporte de la red.
2. **Rutas directas:** sin desvíos o mínimos desvíos de ser necesarios. Las rutas deben atender a la lógica y comportamientos cotidianos del usuario.
3. **Seguridad:** rutas y recorridos seguros. Cuando las rutas están en zonas principalmente residenciales, la velocidad de diseño debe ser baja, con el fin de que el peatón y el ciclista tengan la prioridad. Los conflictos de tipo ciclista-vehículo y ciclista-peatón debe evitarse o manejarse con definición clara de prioridades, señalización, texturas, diferencias de cotas, entre otros.
4. **Confort:** evitar superficies irregulares; se recomiendan pavimentos de textura uniforme, con color diferente, señalizados según las normas vigentes.
5. **Rutas atractivas:** plantear las rutas paisajísticamente armoniosas por recorridos que despierten interés y agrado, sin afectar las condiciones de funcionalidad, ni alargar las trayectorias.

De acuerdo con el documento técnico del Manual de Diseño para el Plan Maestro de Ciclorrutas de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2004), las siguientes deben ser las dimensiones mínimas de la franja de circulación para ciclistas, en función del volumen de bicicletas por día.

Tabla 14. Anchos mínimos de ciclorruta en función de los volúmenes bicicleta/día

Dirección del Flujo	Ancho Efectivo (m)
Volúmenes menores o iguales a 1500 bicicletas/día	
Unidireccional	2.25
Bidireccional	2.75
Volúmenes mayores a 1500 bicicletas/día	
Unidireccional	2.50
Bidireccional	3.00

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2004).

Para el caso de carriles bici, las dimensiones anteriores deberían aumentarse cada una en 1.00 m como mínimo.

Por su parte, la Figura 19 muestra las dimensiones mínimas recomendadas para ciclorrutas bidireccionales con más de 1500 bicicletas al día.

Figura 19. Espacio mínimo recomendado para dos ciclousuarios



Fuente: Elaboración propia.

En Bogotá pueden diferenciarse básicamente tres tipos de espacios para ciclistas, los cuales se describen a continuación:

1. **Ciclorruta:** franjas para ciclistas segregadas físicamente del tránsito motorizado, localizadas sobre andenes o separadores centrales. La canalización con respecto al tránsito peatonal puede ser física, con señalización y/o cambios de textura.
   1.1 En andén con canalización física: localizadas sobre el andén y separadas físicamente del tránsito motorizado, mediante bordillos, franjas de mobiliario y/o arborización y/o franjas de abordaje entre otras. Adicionalmente, se canaliza físicamente, del tránsito peatonal, mediante el uso de bolardos o bordillos.
   1.2 En andén sin canalización física: las canalizaciones respecto a motorizados son las mismas del caso anterior. En cuanto a peatones, la separación solo se hace evidente con señalización y/o cambios de textura.
   1.3 En separador: las canalizaciones respecto a motorizados son las mismas del caso anterior. Respecto a peatones la separación podría ser de cualquiera de los dos tipos explicados anteriormente.

2. **Carril bici:** carriles para bicicletas que forman parte de la calzada vehicular. Pueden estar segregadas físicamente o con señalización y ser adyacentes al carril externo (lento) o al interno (rápido).
   2.1 Carril bici protegido: se denominan de esta manera cuando están protegidos del resto de la calzada mediante bordillos, tachones, tachas o balizas que impiden la invasión del carril por parte de los vehículos motorizados.
   2.2 Carril bici sin protección: solo se segregan mediante cambios de textura o señalización, pero hacen parte integral de la calzada.
   2.3 Carril bici derecho: carriles bici con o sin protección adyacentes al carril de tránsito lento más cercano al andén.
   2.4 Carril bici izquierdo: carriles bici con o sin protección adyacentes al carril de tránsito rápido más cercano al separador o andén, según corresponda.

3. **Zonas Mixtas:** se refiere a zonas autorizadas para el tránsito combinado de peatones y ciclistas como el que se presenta en alamedas, plazoletas y puntos de encuentro.

Cabe aclarar que los tipos descritos anteriormente podrían ser del tipo **unidireccional** o **bidireccional.**

Complementariamente, a continuación se exponen las ventajas y desventajas de cada una de las tipologías descritas, a fin de que con base en el marco regulatorio vigente, el equipo de especialistas y la entidad encargada cuenten con herramientas para la selección del esquema de funcionamiento que se adapte con mayores beneficios de funcionalidad, operatividad, seguridad, economía y confort, para cada caso en particular.

Tabla 15. Ventajas y desventajas de los tipos de ciclorrutas

TIPO Y DEFINICIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ciclorruta protegida: Franja para ciclistas separada físicamente del tráfico peatonal y motorizado.	• Minimiza la exposición al riesgo de accidentalidad pues se disminuyen las variables de exposición y vulnerabilidad. • Aprovechan y refuerzan los cruces peatonales en zonas de intersección. • Comodidad y confort para ciclistas y peatones. • Máxima capacidad de atracción de nuevos usuarios y/o con poca experiencia. • No interfieren con las obras de drenaje de los corredores. • Su localización no está condicionada por la presencia de transporte público o de carga en la calzada adyacente. • Señalización vertical propia que no interfiere con la vehicular. • La existencia de bordillos o tachas permite un diseño altimétrico independiente de la calzada vehicular y de los peatones, situación que representa la condición más deseable pues la circulación de bicicletas ofrece condicionantes propios, diferentes de los de los automóviles y de los peatones.	• Mayor inversión. • Limita el acceso a predios. • Los bolardos, horquillas y pilarotes, pueden convertirse en obstáculos para los ciclistas. • La visibilidad entre los peatones y los vehículos que salen de sótanos y semisótanos es limitada y puede aumentar la exposición a accidentes. • El espacio para las redes de servicios públicos se reduce puesto que por norma y costos de mantenimiento, éstas no se deben localizar bajo de la ciclorruta.
Ciclorruta sin protección: Franja para ciclistas separada físicamente del tráfico motorizado, a la misma cota del andén, separada de los peatones solo con cambios de textura y/o señalización.	• Aprovechan y refuerzan los cruces peatonales en zonas de intersección. • Atractivas para usuarios con poca experiencia. • Disminución de conflictos vehículo-ciclista. • Menor inversión respecto a la anterior. • Se facilita el tratamiento de acceso a predios. • No se presentan obstáculos para los peatones. • No interfieren con las obras de drenaje de los corredores.	• En las zonas de acceso a predios podrían existir conflictos potenciales vehículo-ciclista si no se clarifican las prioridades con señalización y/o cambios de textura y/o cota. • El respeto de los espacios para ciclistas y peatones está asociado a campañas de cultura ciudadana y señalización clara y oportuna. • La visibilidad entre los peatones y los vehículos que salen de sótanos y semisótanos es limitada y puede aumentar el riesgo de accidentes. • El diseño de rasantes no mantiene independencia respecto al de andenes.

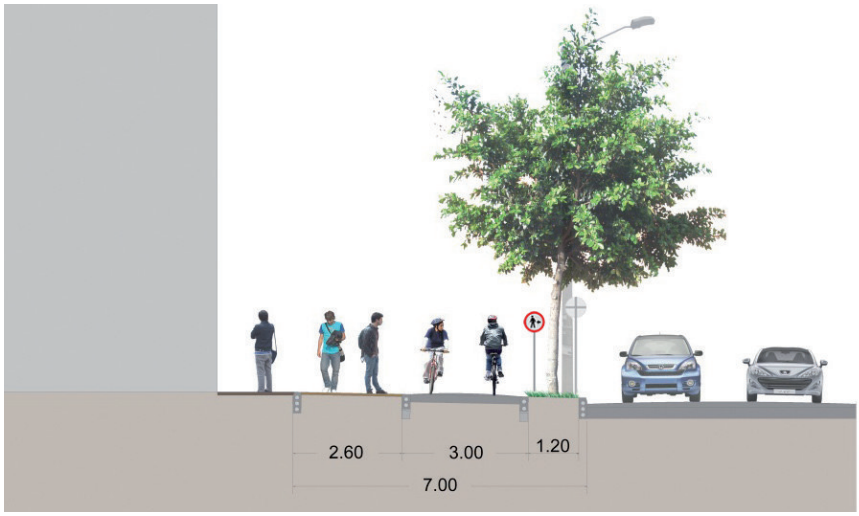
TIPO Y DEFINICIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ciclorruta en separador: Ciclorrutas con o sin protección, localizadas sobre el separador central de un corredor.	• No limita el acceso a predios. • Mínima exposición al riesgo de accidentalidad pues se disminuyen las variables de exposición y vulnerabilidad, especialmente si en el separador se habilita tránsito exclusivamente de ciclousuarios, y en los andenes de peatones. • Mayor comodidad y confort para ciclistas y peatones. • No interfieren con las obras de drenaje de los corredores. • Rutas más directas y con velocidades de circulación más altas para los ciclistas. • Su localización no está condicionada por la presencia de transporte público o de carga en la calzada adyacente.	• Mayor exigencia de espacio. Mínimo recomendado: 8.0 m. • Su manejo en intersecciones se dificulta pues tanto en los giros izquierdos como en los derechos se presenta conflicto con los flujos motorizados. • La alimentación transversal a la ciclorruta implica atravesar la calzada vehicular, lo que aumenta la exposición al riesgo en ciertas zonas. • Su implementación exige que el separador transversalmente esté lo más horizontal posible, situación que condiciona de manera radical el diseño altimétricamente.
Carril bici protegido: Carriles para bicicletas que discurren a la misma cota de la calzada vehicular. Se separan de los carriles mixtos mediante tachas, tachones o bolardos.	• Menor inversión. • Facilidad de implantación en vías amplias, con niveles de servicio vehiculares aceptables. • Permite altas velocidades. • Habilita más claramente la circulación cuándo se trata de franjas unidireccionales.	• Alta exposición al riesgo de accidentalidad pues se aumentan las variables de exposición, probabilidad y vulnerabilidad de los conflictos vehículo-ciclista, pudiendo ocasionar accidentes con mayor severidad, especialmente en vías arteriales. • Limita el acceso a predios. • Exigen anchos mayores para evitar el efecto sombra del elemento canalizador, el cual opera como un obstáculo lateral para la circulación. • No aprovechan los cruces peatonales. Por el contrario en intersecciones que habiliten giros, los ciclistas deben tener fases independientes u operar como peatones, a pesar de estar sobre la calzada vehicular. • Su localización está condicionada por la presencia de transporte público o de carga en la calzada adyacente, situación en la que no son recomendables. • Interfieren con las obras de drenaje de los corredores. La arenilla que se genera en las zonas de sumideros y rejillas, así como la potencialidad de acumulación de aguas lluvias en el borde de calzada, se convierten en un obstáculo lateral de circulación para el ciclista, lo que aumenta su exposición.

TIPO Y DEFINICIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Carril bici sin protección: Carriles para bicicletas que discurren a la misma cota de la calzada vehicular. Se separan de los carriles mixtos solo mediante señalización o cambios de textura.	• Mínima inversión. • Ventajas similares a las del caso anterior.	• Máxima exposición del usuario. Bajo un análisis de riesgo, aumentan las variables de exposición, severidad, probabilidad y vulnerabilidad. • Se minimiza la capacidad de atracción de usuarios con poca experiencia. • Las demás desventajas del caso anterior.
Carril bici derecho: Carriles bici con o sin protección adyacentes al carril de tránsito lento más cercano al andén.	• Colinda con el tránsito lento. • Las demás ventajas dependen de si es con o sin protección.	• Limitan el acceso a predios y el estacionamiento lateral. • Las demás desventajas dependen de si es con o sin protección.
Carril bici izquierdo: Carriles bici con o sin protección adyacentes al carril de tránsito rápido más cercano al separador o andén, según corresponda.	• No limita el acceso a predios. • Rutas más directas y con velocidades de circulación más altas. • Las demás ventajas dependen de si es con o sin protección.	• Mayor exigencia de espacio. • Adyacentes al tránsito vehicular más rápido. • Su manejo en intersecciones se dificulta pues tanto en los giros izquierdos como en los derechos se presenta conflicto con los flujos motorizados y no motorizados. • La alimentación transversal a la ciclorruta implica atravesar la calzada vehicular, lo que aumenta la exposición al riesgo en ciertas zonas. • Las demás desventajas dependen de si es con o sin protección.
Zona Mixta: Zonas autorizadas para el tránsito combinado de peatones y ciclistas.	• Mínima inversión. • Máxima flexibilidad para ciclistas y peatones. • Permiten la generación de puntos de encuentro con vocación urbana incluyente e integración con otras actividades.	• Con flujos peatonales altos obligan al ciclista a descender de la bicicleta. • No son recomendadas para volúmenes de peatones y ciclistas altos. • Percibidas con menor sensación de seguridad por parte de los ciclistas poco experimentados. • Requieren medidas de tráfico vehicular calmado.

Fuente: Elaboración propia con base en (Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos, 2008).

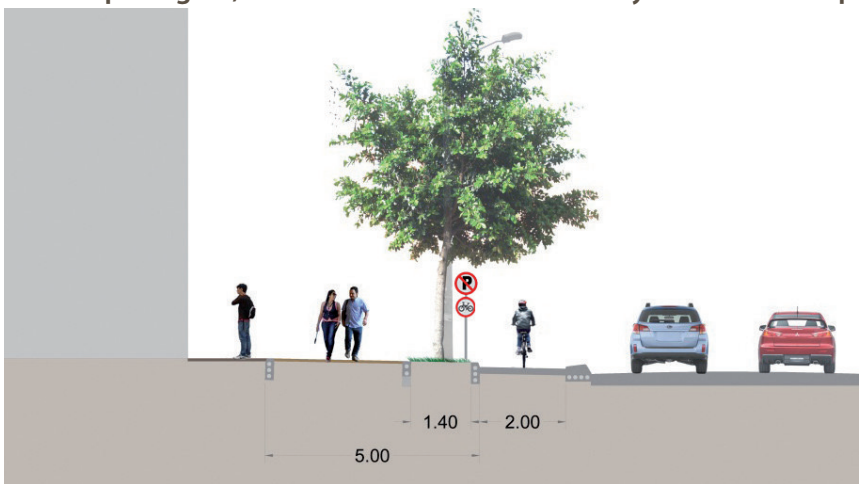
Las siguientes figuras ilustran los tipos de ciclorrutas antes mencionados:

Figura 20. Ciclorruta sobre andén



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Carril bici protegido, no recomendable en zonas adyacentes a transporte masivo

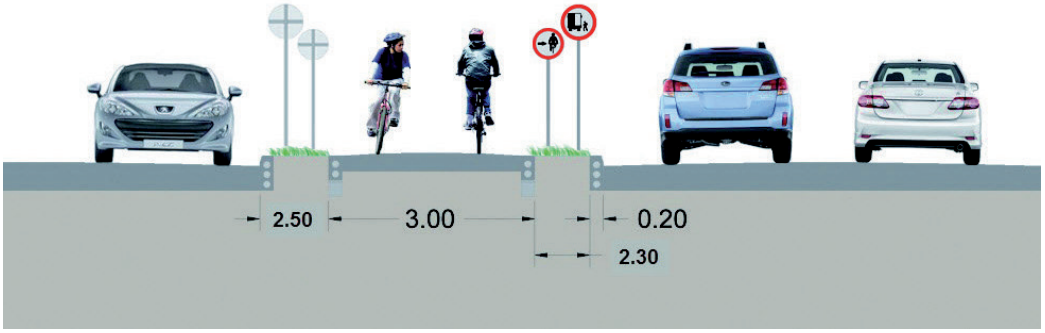




Fuente: Elaboración propia.

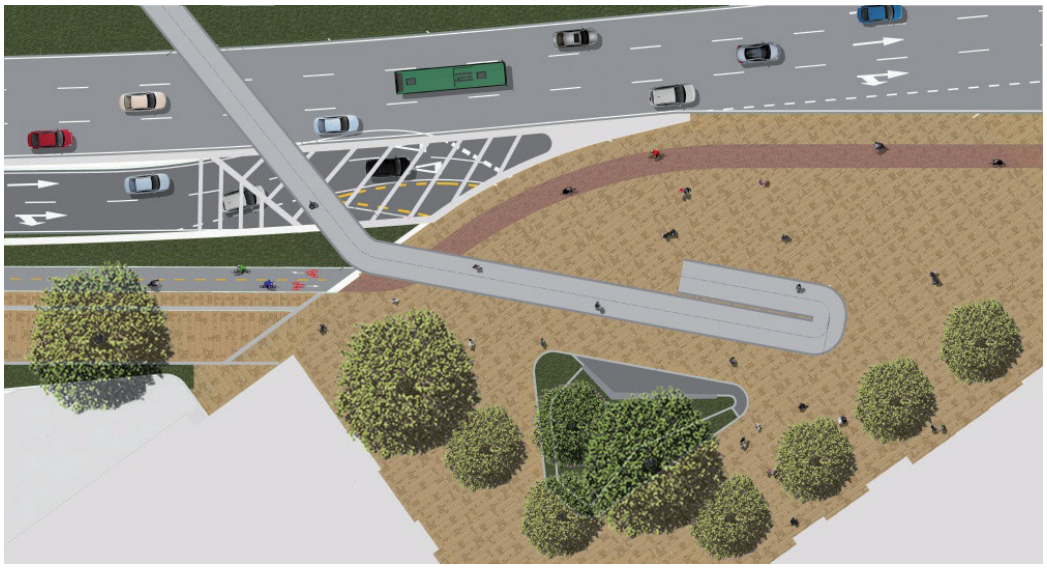
En la Figura 21 puede observarse cómo con anchos menores al mínimo se ven afectados los gálibos laterales seguros y se aumenta la exposición y probabilidad de ocurrencia de accidentalidad.

Figura 22. Ciclorruta sobre el separador central



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Ciclorruta en zona mixta, compartiendo circulación con peatones (principalmente en plazoletas y puntos de encuentro)



Fuente: Elaboración propia.

Las anteriores alternativas deben ser evaluadas a la hora de hacer una propuesta, bajo determinantes como la topografía, los volúmenes de tráfico, el ancho del andén, el ancho de los carriles, el ancho del separador, la distancia entre intersecciones, el uso del suelo, las frecuencias de uso, la integración a la red, la inserción en el entorno, entre otros factores. En todo caso, la mejor alternativa será definida a través de estudios de tránsito y seguridad vial que establezcan las ventajas y desventajas de cada una de ellas, primando los perfiles viales establecidos por el Plan de Ordenamiento Territorial POT.

Asimismo, es necesario tener presente que la malla vial donde se implante, otorga variables y determinantes para el tipo de ciclorruta a adoptar, de acuerdo con lo que se recomienda en la siguiente tabla.

Tabla 16. Jerarquía vial en relación al tipo de ciclorruta

	PERFIL POT		ANCHO TOTAL (m)	ANCHO CICLORRUTA	SEPARADOR (m)	CONTROL AMBIENTAL (m)	CICLORRUTA SOBRE ANDÉN	CICLORRUTA SOBRE SEPARADOR CENTRAL	CARRIL BICI	ZONAS MIXTAS
MALLA ARTERIAL REGIONAL, PRINCIPAL Y COMPLEMENTARIA	V0	V0A	100	2 de 2.5 * Unidireccionales	13	10	APLICA	APLICA	La implementación de esta tipología dependerá de la normatividad vigente, sin olvidar que requieren anchos mayores a los de las ciclorrutas sobre andén. Además se recomienda que por seguridad vial, esta tipología no sea implementada en vías de la Malla vial Regional ni Principal, excepto si se trata de proyectos nuevos en los que la sección transversal y el sistema de drenaje sean especialmente diseñados para este fin. Atendiendo a las premisas de coherencia y seguridad, su implementación se considera restrictiva a vías locales y no se recomienda su implementación adyacente a los carriles para transporte público masivo.	Aplica en plazoletas y puntos de encuentro.
		V0B					APLICA	APLICA		
		V0C					APLICA	APLICA		
		V0D					APLICA	APLICA		
	V1	V1A	60	"3.3 * Bidireccional"	5	10	APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V1B			5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V1C			6		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V1D			5,4		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
	V2	V2A	40	2.5 Bidireccional	5	10	APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V2B	42	2.5 Bidireccional	5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V2C	40	2 de 2.5 Unidireccionales	6,5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V2D	42	2.5 Bidireccional	5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
	V3	V3A	31	"2.5 Bidireccional"	3	10	APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V13B	32		5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V3C	31		3		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
		V3D	34		5		APLICA	APLICA CON SEPARADOR DE 8.0 m.		
MALLA VIAL INTERMEDIA	V4	V4	25	NA	3	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
		V4*	25	2.4 Bidireccional	3	NA	APLICA	NO APLICA		
		V4A	22	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
		V4A*	22	2.4 Bidireccional	NA	NA	APLICA	NO APLICA		
	V5	V5	18	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
		V5*	18	NA	NA	NA	APLICA	NO APLICA		
	V6	V6	16	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
MALLA VIAL LOCAL	V7	V7	13	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
	V8	V8	10	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		
	V9	V9	8	NA	NA	NA	NO APLICA**	NO APLICA		

* El Decreto 190 de 2004 reglamenta los anchos dispuestos en la tabla anterior, sin embargo el Plan Maestro de Ciclorrutas del mismo año define anchos mínimos bidireccionales de 2.75 mara menos de 1500 bicicletas día o 3.0 m cuando se supera está cantidad. Por su parte esta guía recomienda un ancho mínimo de 3.0 m para la malla vial arterial.

** No aplica según POT 2004, sin embargo si los estudios de tránsito y seguridad vial lo recomiendan pueden implementarse.

Fuente: Elaboración propia con base en POT, decreto 190 de 2004.

3.2.4.3 Espacio libre lateral

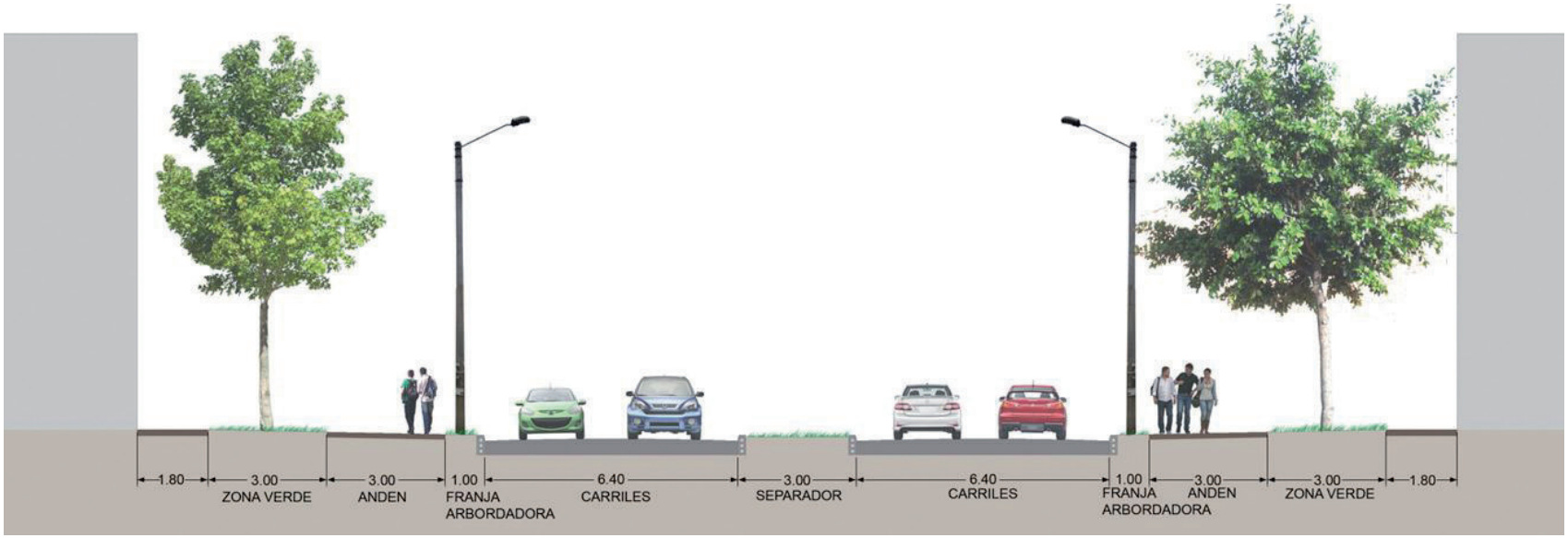
Dentro de los perfiles viales de la malla vial arterial que el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) determina, la franja correspondiente al Control Ambiental es un espacio con alto potencial para manejo paisajístico y lúdico, el cual debe ser aprovechado como parte integradora del entorno y de los proyectos de infraestructura vial.

Cuando el espacio libre lateral es producto del retiro reglamentario a causa de las líneas de alta tensión o algún otro servicio público, se debe aprovechar esta sección vial ampliada para mejorar la calidad visual y paisajística del sector y del Distrito Capital en general.

Luces libres o gálibos: las vías urbanas deben contemplar espacios libres en todos los sentidos que certifiquen la movilidad y seguridad de los usuarios. Para lograr estos aspectos, en las secciones transversales se deben garantizar dimensiones laterales y verticales mínimas que aseguren el paso de los vehículos tipo considerados en el diseño sin interferencias físicas, con plena visibilidad y sin efectos sicológicos, para evitar las dificultades operativas y las disminuciones en la capacidad y nivel de servicio (MINVU, 2009)

- Luces libres Laterales: las distancias libres laterales se miden desde el borde de la calzada hasta cualquier obstáculo que se encuentre a su lado de altura superior 0.15 m: estribos, muros, pilares, barreras etc. (MINVU, 2009). Cuando el obstáculo es simplemente un bordillo se recomienda que en vías con velocidades de diseño mayores a 60 km/h se dejé una luz libre lateral de 0.3 m, la cual se incrementará en función de la altura del elemento de manera similar al efecto sombra hasta alcanzar un máximo recomendado de 1.20 m para muros de altura mayor a 4.0 m.
- Luces libres Verticales: las distancias libres verticales o gálibos verticales deben ser mínimo de 5.0 m medidos a partir de la superficie de rodadura y a lo largo de toda la calzada; en zonas con pasos sobre líneas férreas el gálibo vertical debe ser de 5.5 m.
- Complementariamente, si los árboles entre el bordillo y la línea del paramento son una parte importante en la mejora del paisaje, la sección típica debe ser diseñada de tal forma que proporcione un espacio para su ubicación. Los árboles deberán cumplir los requisitos de espacio horizontal libre, sin interferir con su estructura en la vía (Véase Figura 37).

Figura 24. Sección transversal con andén mínimo y zona verde arborizada



Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Zonas complementarias

3.2.5.1 Carriles de estacionamiento

En algunas ocasiones, dentro del proyecto de diseño geométrico se debe contemplar la necesidad de proveer espacios para el estacionamiento de vehículos (Cal & Mayor & Cárdenas G, 2007), que deberán ser los suficientes para suplir las necesidades de los viajeros que hacen uso de su automóvil como forma de transporte. En general estos espacios se pueden habilitar en vía pública o fuera de vía y para el caso distrital están regulados por la Ley 769 de 2002 (Ministerio de Transporte, 2002) y el Decreto 319 de 2006 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2006) entre otras normativas aplicables.

Para el caso de la presente Guía solo es de interés el de estacionamiento en vía pública, el cual no es otra cosa que la habilitación de carriles de la malla vial, según lo permita la normatividad, para el estacionamiento de los vehículos. Naturalmente, esto conlleva a la disminución de la capacidad de las vías en la que está permitido el estacionamiento.

En este sentido, los carriles de estacionamiento se definen como franjas habilitadas sobre la calzada, cuya única finalidad es habilitar las paradas temporales de vehículos. Los carriles de estacionamiento se consideran inconvenientes en Corredores Arteriales, aunque excepcionalmente la incorporación de zonas de estacionamiento en este nivel jerárquico se podrá analizar solo si existen calzadas de servicio y espacio suficiente para el desarrollo de bahías configuradas bajo la normatividad relativa vigente, y si el estudio de tránsito prevé impactos mínimos a la capacidad del corredor. Los carriles de estacionamiento solo aplican entonces para redes viales intermedias y locales y su incorporación se justifica solo cuando se garantice, al menos, un beneficio equivalente, que sopese la disminución de la capacidad de la vía, con ventajas asociadas a las condiciones urbanísticas, de accesibilidad y de desarrollo del sector.

De otra parte, el tipo de estacionamiento se clasifica según sea el ángulo que forma el vehículo con el lindero o andén, así el estacionamiento puede ser en cordón o paralelo cuando los vehículos se estacionan uno tras otro de forma paralela a la circulación vehicular y en batería cuando los vehículos se estacionan lado a lado sin importar el ángulo (90, 60, 45 o 30) que formen respecto del andén (Cal & Mayor & Cárdenas G, 2007). El ancho mínimo será de 2.4 m para el caso de estacionamiento en paralelo, hasta un máximo de 5.0 m, para estacionamiento en batería, en función del ángulo de estacionamiento. En todo caso, la implementación de cualquiera de los tipos mencionados, estará sujeta al espacio disponible, la incorporación en tramo recto, la completa visibilidad en ambas direcciones y la presencia de zonas con pendientes longitudinales menores al 4%; en caso contrario no serán factibles.

Consideraciones de Tránsito

Antes de adelantar el diseño del estacionamiento, es necesario contar con información de la oferta, demanda y rotación del estacionamiento; para ello existen diversas técnicas de muestreo, tales como las que se presentan en el Manual de Planeación y Diseño para la Administra-

ción del Tránsito y el Transporte (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005) entre otras fuentes.

Cal y Mayor y Cárdenas (Cal & Mayor & Cárdenas G, 2007) definen los anteriores términos así:

- Demanda: necesidad de espacios para estacionarse o número de vehículos que pueden estacionarse durante cierto tiempo.
- Oferta: espacios disponibles de estacionamiento.
- Rotación: número de veces que se usa un espacio de estacionamiento durante un lapso de tiempo.

3.2.5.2 Paraderos o zonas de ascenso y descenso de pasajeros

Los paraderos de buses se convierten en un elemento importante de la vía, pues permite la integración de diferentes modos y/o medios de transporte y generan una afectación a las condiciones de operación vehicular y peatonal. Generalmente los paraderos de Transporte Público Colectivo hacen parte de la sección transversal de la vía, pues se desarrollan sobre el andén, o haciendo uso de los separadores centrales o laterales dependiendo del esquema de acceso a los buses (puerta derecha o puerta izquierda). En cuanto al Transporte Público Masivo, las estaciones regulares para el ascenso y descenso de pasajeros, utilizan separadores centrales, dada la configuración que el sistema de Buses de Tránsito Rápido, Transmilenio (BRT, por sus siglas en inglés *Bus Rapid Transit*) posee en Bogotá; así mismo, algunas de las Estaciones Terminales, se han incorporado en los separadores centrales, cuando el espacio disponible lo ha permitido.

En este sentido, a continuación se describe, de manera general, algunos aspectos geométricos a considerar en el diseño de las zonas antes mencionadas, teniendo presente que el objeto de esta guía no recae sobre este propósito, ni sobre otros sistemas que exigirían condiciones particulares, como el caso de Metro, Tren de Cercanías, Tranvías, etc., para cuyo diseño deberán consultarse otro tipo de documentos.

Las recomendaciones generales que el diseñador urbano debe tener presentes siempre que el proyecto involucre corredores que hagan parte del Sistema Integrado de Transporte Público incluyen:

1. Terminales y Estaciones Intermedias

Típicamente, en los Sistemas de Transporte Masivo las terminales son los puntos de transferencia más importantes. Las terminales están situadas en el extremo de cada corredor troncal, mientras que las estaciones Intermedias se ubican en puntos de integración entre troncales, en zonas de intercambio modal, o en puntos de conexión con pretroncales o zonas de alimentación. Generalmente, cuando son independientes del patio de operaciones, y el espacio es suficiente, se configuran como parte integral de la sección transversal del corredor. En caso contrario se desarrollan en lotes cercanos al corredor.

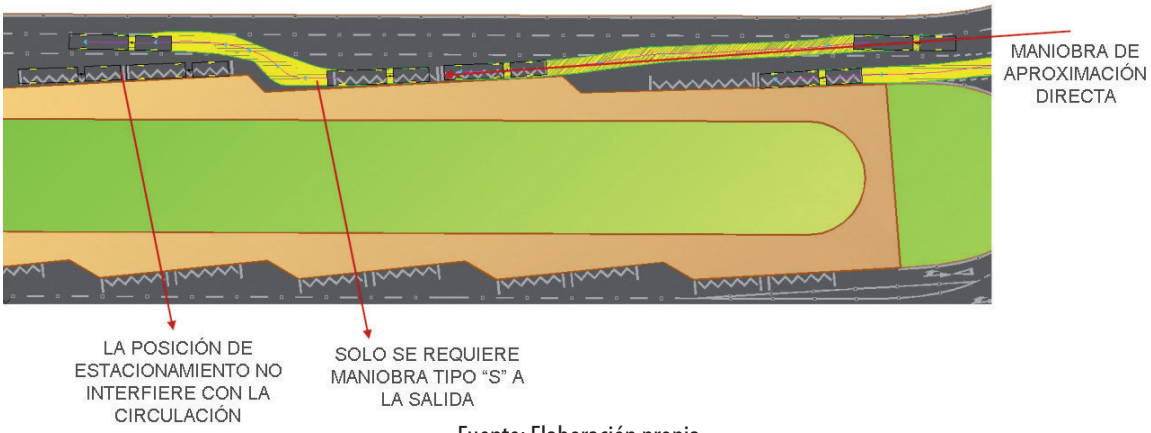
En cuanto al tema de diseño geométrico al que atiende esta Guía, el diseñador debe tener en cuenta algunos aspectos generales para su proyección. Inicialmente para el planteamiento del esquema básico de operación, se deberá considerar lo siguiente:

- Analizar los recorridos vehiculares y peatonales, con el propósito de proponer una operación eficaz, segura y ágil con respecto a la accesibilidad.
- Identificar la zona efectiva disponible para lograr incorporar en ella los requerimientos de áreas de espera, cantidad de puestos para ascenso y descenso de pasajeros, cantidad de carriles, entre otros.
- Zonificar las diferentes áreas que se requieren para cumplir con las exigencias operacionales establecidas por el operador. Esta actividad deberá desarrollarse mancomunadamente con el área de transporte, encargada de suministrar al diseñador la cantidad de plataformas y paradas requeridas.
- Analizar la influencia de las intersecciones viales aledañas sobre el diseño geométrico y operacional de la terminal, con el propósito de establecer soluciones integrales que velen por una movilidad vehicular y peatonal segura, cómoda y eficiente en su zona de influencia.
- Plantear alternativas según las necesidades y los tipos de vehículos que paran en la estación. Las alternativas a evaluar deberán estar soportadas por la verificación de trayectorias y ocupación de los vehículos en cada una de las maniobras de aproximación y salida de las plataformas.
- Determinar la geometría necesaria para cumplir con una óptima operación, tratando de mantener en lo posible, los conceptos y planteamientos urbano-paisajistas, arquitectónicos y ambientales que sean fundamentales.

En cuanto al diseño planimétrico debe considerarse que la geometría dependerá del tipo de parada a implementar, pudiendo ser lineal, dentada o poliédrica. Asimismo, la geometría dependerá del área requerida, siendo estos, insumos que deben otorgar las áreas de tránsito y arquitectura.

- Plataformas Lineales: corresponde al tipo de paradas en que el borde de la plataforma es completamente lineal, por lo tanto es indispensable que el bus realice una maniobra en "S" para aproximarse o salir del puesto de parada; ello representa un distanciamiento específico entre buses, el cual está en función del tipo de vehículo y su trayectoria; en caso de no existir tal separación, la operación se realizaría en carrusel, sin opción de sobrepaso.
- Plataformas Dentadas: constituyen hasta ahora uno de los tipos que ha resultado más efectivo operativamente en patios y portales, en comparación con las de tipo lineal que fueron utilizadas exclusivamente en la Fase I del sistema Transmilenio. Este tipo de paradas permite una aproximación directa a la posición de ascenso y descenso de pasajeros, sin que exista interferencia con las posiciones adyacentes y eliminando la necesidad de realizar la maniobra de aproximación en "S" que se requería en las de tipo lineal. La geometría se diseña de forma tal que las posiciones de estacionamiento no interfieren en absoluto con el carril de circulación (no queda ninguna parte del vehículo invadiendo los carriles de circulación) lo que permite, incluso con holgura, la maniobra de salida.

Figura 25. Plataformas dentadas

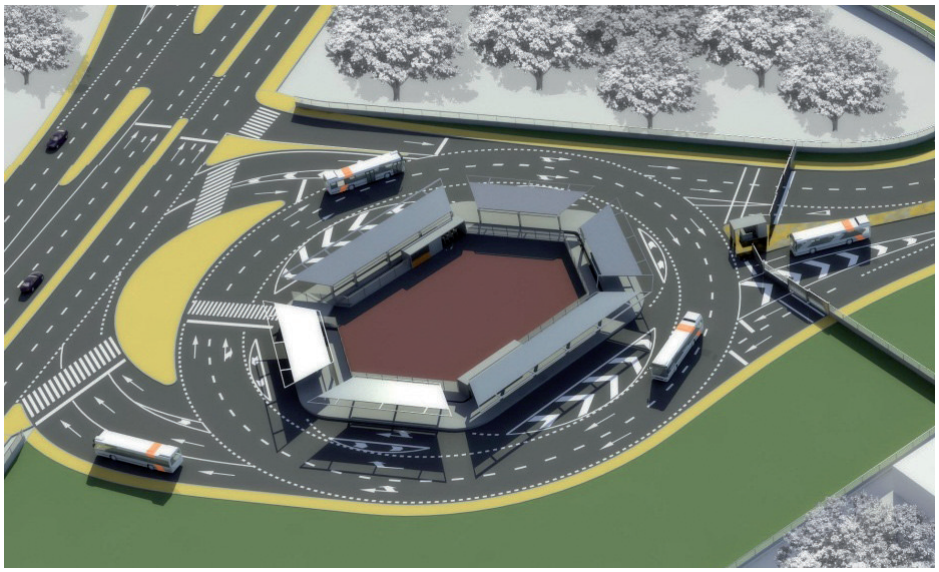


Fuente: Elaboración propia.

Para dos buses articulados con posibilidad de adelantamiento en plataformas lineales, se requieren 100 m, mientras que en una de tipo dentado los mismos buses ocuparían tan solo 72 m, lo que representa un ahorro de 28% en la longitud total de la plataforma, y por consiguiente de los costos.

- Plataformas Poliédricas: este tipo, de reciente implementación, implica la configuración geométrica de rombos, hexágonos, octágonos y poliedros en general, dependiendo de la cantidad de rutas que acceden a la terminal o estación intermedia. Su flexibilidad y valor agregado radica en el menor espacio requerido, la aproximación y salida sin realizar maniobras en "S" y a la circulación horaria o antihoraria según la ubicación de las puertas de los buses; además facilita la conexión al corredor, de manera similar a como se haría en una intersección con circulación anular.

Figura 26. Plataforma poliédrica

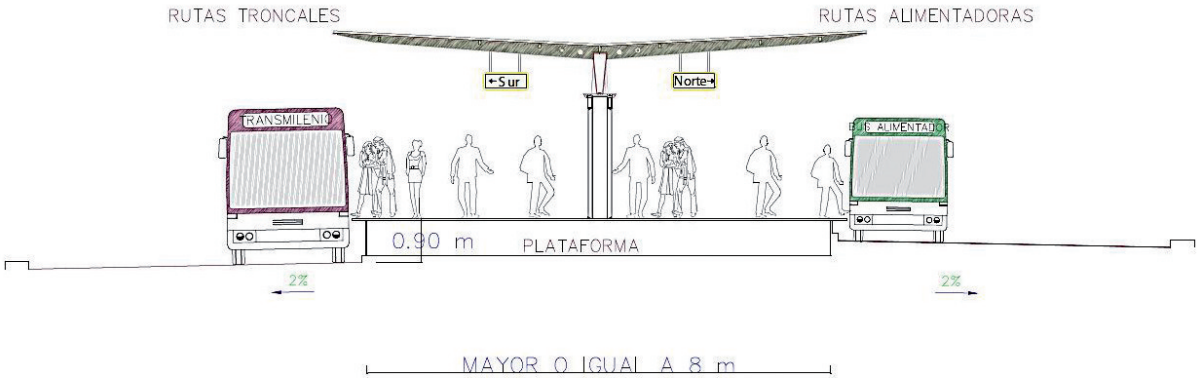


Fuente: MoBilé S.A, Disvial IP SAS y Sociedad Cabal Arquitectos.

El área de las plataformas dependerá del espacio disponible, los estudios de transporte de demanda y atención de usuarios, así como de los análisis de capacidad y niveles de servicio en zonas de espera peatonal. Cabe mencionar que en Bogotá se ha utilizado como ancho mínimo en terminales 8 m.

En cuanto a la configuración altimétrica, la premisa básica a considerar radica en que es necesario que la plataforma sea completamente horizontal, lo cual debe garantizarse con el diseño de los corredores de aproximación y las rasantes por borde interno, teniendo en cuenta, primero que el bombeo normal debe ser de 2% y segundo, que la altura de las puertas del bus condicionará la cota de la rasante. Así por ejemplo, si por un costado de la plataforma estacionan articulados cuya altura de puertas es 0.90 m y por el otro alimentadores, cuyas puertas están a 0.30 m de la rasante, deberá existir una diferencia de 0.60 m entre bordes de calzada, verificable en cualquier parte de la plataforma, para garantizar su horizontalidad.

Figura 27. Sección transversal plataforma con troncales y alimentadores



Fuente: (ITDP, 2010)

2. Estaciones Regulares

Las estaciones regulares son las que se ubican en los corredores de transporte público masivo, y para efectos de la presente guía se asocian a la infraestructura propia de Transmilenio.

Planimétricamente, el ancho y longitud de las estaciones depende de los estudios de tránsito y transporte, los que a su vez determinan, por un lado la cantidad de rutas y puestos de parada requeridos para la operación del sistema, así como la cantidad y distribución de los torniquetes necesarios para el ingreso.

Determinan además, las dimensiones transversales recomendadas para una espera peatonal segura, con niveles de servicio aceptables. Todos estos datos permiten dimensionar la estación en conjunto con otras medidas estándar o previamente establecidas como por ejemplo, la distancia entre paradas para la aproximación y salida segura, y la distancia entre módulos de la estación.

Así mismo, deben considerarse para el diseño en planta las transiciones de la sección transversal, pues generalmente las calzadas exclusivas presentan dos carriles en zonas adyacentes a la estación, y solo 1 entre estaciones. Véase sección 3.2.1.1 Carriles de circulación.

De otro lado, para corredores con presencia de intersecciones semaforizadas y pasos peatonales a nivel, debe tenerse en cuenta que la cola de buses tras la línea de pare, no debe bloquear la salida segura de los buses que recogen pasajeros en la estación inmediatamente anterior.

Finalmente para el diseño altimétrico debe considerarse el manejo de rasantes como se explicó para el caso de las terminales. Además se debe tener en cuenta que no deberían existir curvas verticales en zonas donde se localicen módulos de la estación; éstas solo podrán ir antes, después, o entre las mismas.

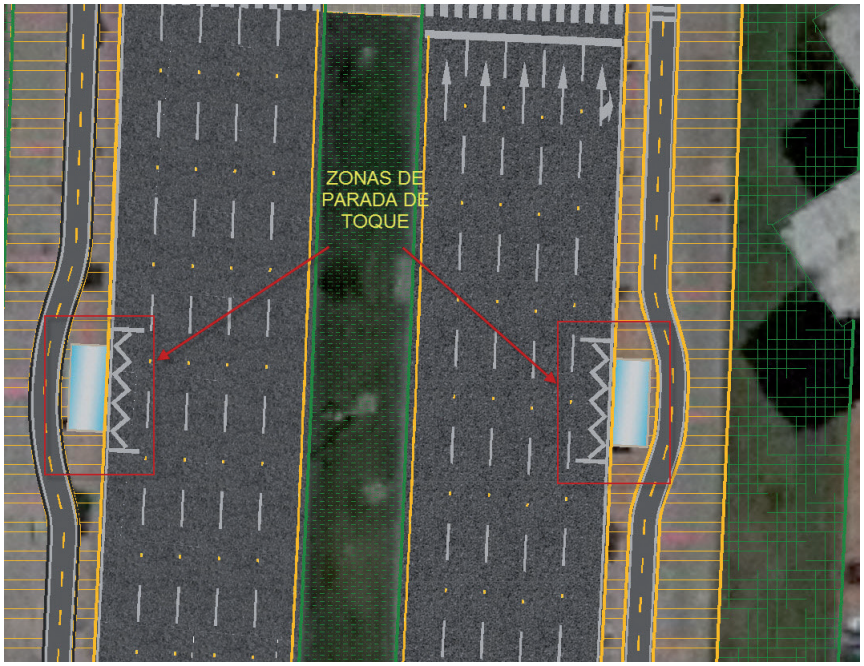
3. Paraderos Laterales

Estos paraderos hacen referencia a zonas de parada laterales, en corredores intermedios y locales, incluyendo aquellos cuya infraestructura corresponde solo a la señal de tránsito, para el caso de vías locales, o a los que disponen de módulos de parada simple o multimodular, los cuales se implementarán en las redes viales de orden intermedio.

Para efectos de la presente Guía se consideran los siguientes tipos de paraderos laterales; a continuación se presentan algunas recomendaciones generales:

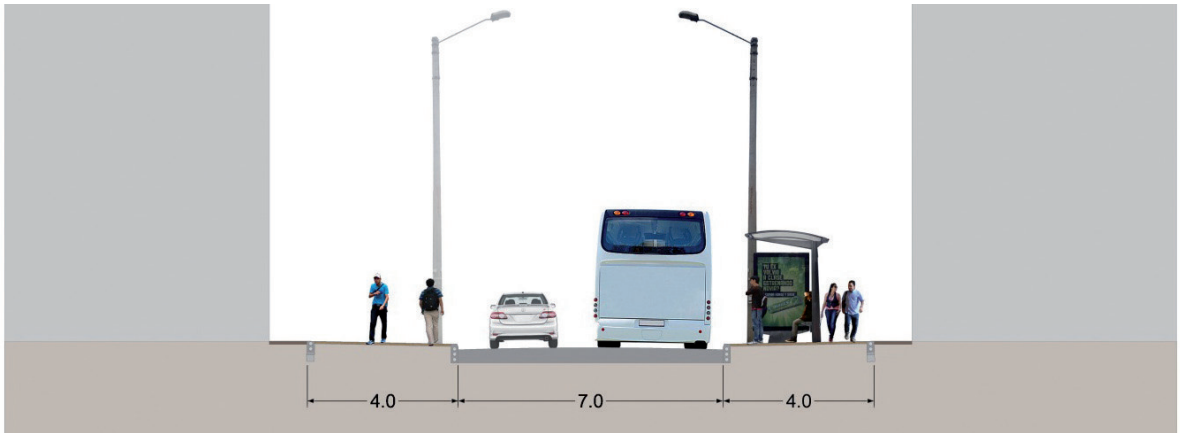
- Tipo 1 - Paradero de toque: pueden implementarse en vías con anchos mayores a 6.0 m que permitan el adelantamiento del bus que se detiene. Para vías locales, con anchos menores, si se decide implementar este tipo de paradas, la operación de los buses deberá realizarse en carrusel, bajo protocolos que impidan el adelantamiento, preferible sobre corredores que no combinen tránsito de vehículos pesados. La zona de parada se debe demarcar claramente complementándola con señalización vertical suficiente. Se recomienda que no se ubique cerca de intersecciones o bocacalles pues se generarían conflictos con las maniobras de giro derecho, restringiendo la capacidad y afectando la seguridad vial.

Figura 28. Paradero de toque en Corredor Arterial



Fuente: Elaboración propia.

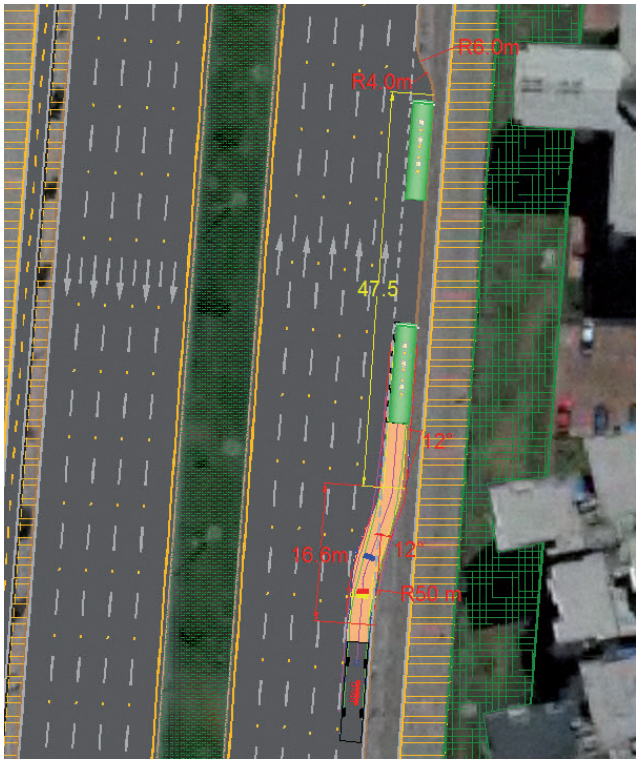
Figura 29. Sección Transversal Paradero de toque en Corredor Local



Fuente: Elaboración propia.

- Tipo 2 - Paradero con Bahía: las bahías de parada son zonas paralelas a los carriles de circulación, permiten el ascenso y descenso de pasajeros sin que el estacionamiento del bus disminuya la capacidad de la calzada vehicular. Este tipo de configuración exige un diseño especial en las zonas de aproximación y salida, para que las trayectorias del vehículo se desarrollen de forma segura, siendo más exigente la configuración a la entrada que a la salida de la bahía. Cuando la planificación de las rutas exige una cantidad de paradas independientes, con rutas diferentes y con opción de adelantamiento, la longitud de la bahía se alarga considerablemente, pues para buses de 12 m (padrones) se requieren 15 m entre puestos de parada, para la aproximación del bus de adelante cuando el de atrás esté parqueado.

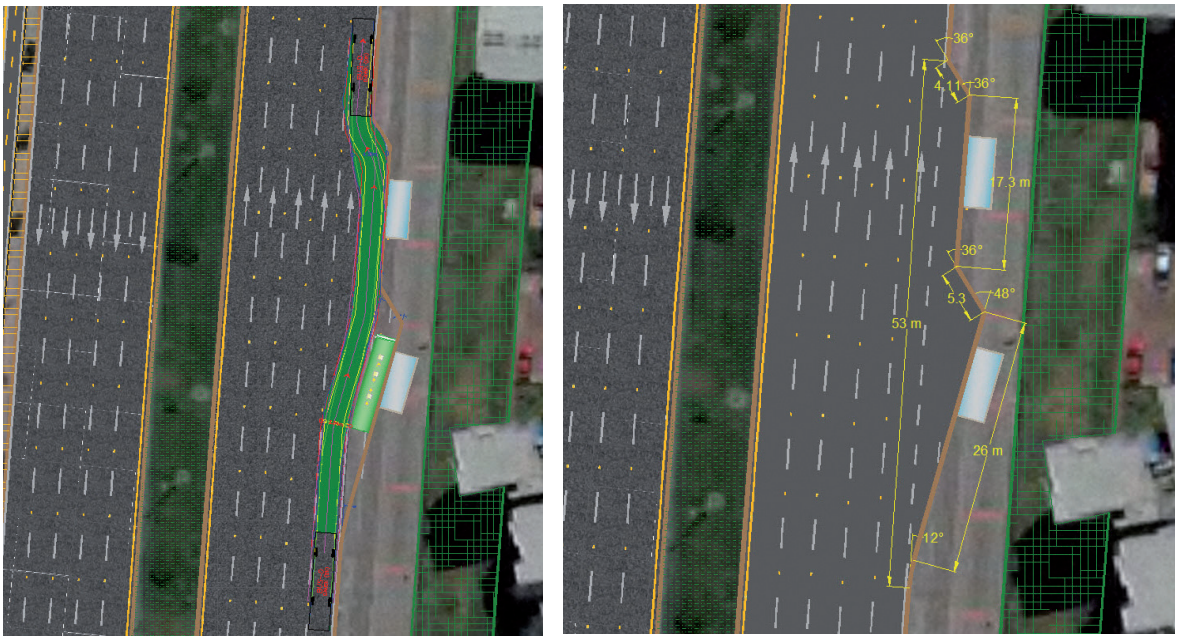
Figura 30. Paradero con bahía para dos buses con opción de adelantamiento



Fuente: Elaboración propia.

Tipo 3 - Paradero Dentado: este tipo de configuración es útil cuando se requiere más de un puesto de parada, con operación independiente y necesidad de adelantamiento. Ocupa menos longitud que el anterior, y aunque el requerimiento transversal es mayor, la operación es más rápida, segura y flexible, pues la entrada en la primera bahía se realiza de forma directa sin necesidad de maniobras en "S". Esta alternativa genera paradas independientes físicamente que no dependen de la demarcación como en el caso anterior.

Figura 31. Paradero dentado



Medidas calibradas para un bus de 12 m - Padrón

Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones de Tránsito:

La definición de las paradas es el producto de un estudio detallado del sistema de transporte que debe involucrar entre otros los siguientes aspectos (Transportation Research Board, 1996). Generación de viajes y uso del suelo.

- Distancia de caminata.
- Maniobras de ascenso y descenso.
- Tiempos de demora.
- Tiempos de viaje.
- Transbordos.
- Integración modal.

Cuando las paradas se plantean en la vía pública, ésta ve disminuida su capacidad por la interferencia causada por la parada de los buses más el tiempo consumido en las maniobras de parada, ascenso y descenso de pasajeros y arranque de los buses. Así, bajo ciertas condiciones de operación se debe considerar la posibilidad de incorporar bahías como parte del paradero o esquemas dentados que mitiguen la afectación sobre la capacidad de las vías (Molinero Molinero & Sánchez Arellano, 2005).

De otra parte, el diseño de la parada debe considerar el manejo de los flujos peatonales y los sitios de espera de los pasajeros. En consecuencia, entre los aspectos que deben considerarse dentro del diseño de los paraderos se tiene:

- Volúmenes de buses.
- Volúmenes de pasajeros.
- Tiempos de demora.
- Tipo de bus.
- Tipo de vía.
- Cantidad y frecuencia de rutas.

3.3 CONTROL DE ACCESOS

Las vías arteriales intermedias y locales suelen estar condicionadas por las alineaciones de los predios adyacentes y por los usos del suelo del sector, en este caso el trazado de este tipo de vías, se realiza de acuerdo a las restricciones del medio urbano. Por tal motivo, como primera premisa es indispensable que en el diseño altimétrico se tenga en cuenta la rasante de la línea de paramentación, para el control del drenaje superficial transversal, con lo que se evitan deficiencias en los empalmes con bocacalles y se garantiza seguridad y confort en la configuración de la infraestructura de espacio público peatonal y de ciclousuarios. De igual manera, cuando los flujos peatonales y vehiculares sean bajos y la accesibilidad al entorno deseable, no deberían existir más restricciones a la entrada y salida de vehículos, que las impuestas por los límites de la propiedad, el manejo de conflictos vehículo-peatón/ciclista y la estética urbana (MINVU, 2009).

En contraposición, para la Malla Vial Arterial Principal y las propuestas de Autopistas Urbanas, el control de accesos debe ser total, en tanto aporta seguridad a los usuarios de este tipo de vía y asegura que la infraestructura, cumpla la función de ofrecer movilidad eficiente, segura y rápida. Esta condición se logra mediante un manejo de rasantes, que segregue verticalmente el tránsito vehicular y que haga uso del corredor rápido, respecto al tránsito de corta distancia y el tránsito peatonal. Para el caso de vías existentes en las que actualmente esté garantizado el acceso a los predios por el frente de la vía en cuestión, deberán seguirse las premisas de la Tabla 17, propendiendo por la configuración de calzadas de servicio, que podrían ser bidireccionales y con conexión a las intersecciones a desnivel del corredor, para asegurar la permeabilidad y conectividad de la red. De la misma manera, el diseño altimétrico de las calzadas de servicio estará condicionado por los requerimientos arriba mencionados para permitir el acceso total seguro

En la malla Vial Arterial Complementaria VAC y vías rápidas Urbanas VRU el control de accesos es total o parcial. Se hace necesario definir de una manera precisa los niveles de control de acceso para cada tramo de la vía, los itinerarios peatonales y de ciclistas, así como los puntos de cruce en la calzada principal. A medida que los flujos (peatonales o vehiculares) crecen, es indispensable controlar la aparición de dispositivos de acceso.

La recomendación para la autorización de los accesos en vías arteriales, recae en una estimación certera que involucre entre otros los siguientes aspectos:

- Frecuencia de las maniobras de entrada y salida.
- Existencia de calzadas paralelas de servicio.
- Necesidad de carriles de acumulación a la entrada y salida, según análisis de colas y recomendaciones del estudio de tránsito.
- Espacio requerido en función de los volúmenes peatonales y de ciclistas que cruzan el acceso, el vehículo predominante, la trayectoria del vehículo de diseño (en función de lo establecido en el Capítulo 2), el ángulo en entrada y/o salida.
- La proximidad del acceso a intersecciones que permitan conectividad y conexión a vías locales o colectores que faciliten el acceso a la zona usando otras rutas. Además la distancia entre los accesos y las intersecciones debe revisarse para corroborar que el funcionamiento del acceso no impacte negativamente en el de la intersección, por temas asociados a los indicadores de operación del tránsito.
- El costo social y el valor del tiempo respecto a los sobrerrecorridos o impactos que se generen a la accesibilidad.

En todo caso debe considerarse que para el caso de Bogotá, el artículo 182 del Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004), se encarga de regular la disposición de accesos vehiculares a predios con frente a vías de la malla arterial, teniendo en cuenta las siguientes premisas:

Tabla 17. Premisas para el control de accesos en Vías Arteriales

TIPO DE PREDIO	APROBACIÓN
Con frente a vías de la malla vial arterial.	1. Por vía local existente o proyectada. 2. En caso de no presentarse la condición anterior, el acceso se deberá dar por calzada de servicio de acuerdo con lo descrito en el numeral 3.2.1 Calzadas vehiculares. El ancho dependerá de lo que establezca el perfil POT y de la longitud en la que se implementará la calzada, ya que para longitudes mayores a 60 m, medida sobre el corredor principal, se debe permitir el adelantamiento y por lo tanto el ancho deberá ser de mínimo 6.0 m. Cuando la calzada de servicio exista, deberán implementarse carriles de acumulación a la entrada y a la salida, cumpliendo los criterios para el diseño de convergencias y divergencias que se explican en el Capítulo 4, y según las longitudes que recomiende el estudio de tránsito. 3. En casos excepcionales, con la debida justificación, el acceso se planteará en forma directa desde la vía arteria.
Para predios esquineros colindantes con vías arteriales por ambos costados.	1. Buscar generar una vía local. 2. Si no se puede cumplir el requerimiento anterior, el acceso y la salida vehicular deberán darse por la vía arteria de menor especificación, bajo los criterios del caso anterior.

Fuente: Basado en (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004).

Según el POT, *para establecimientos cuya dimensión o tipo de actividad económica esté clasificada como de escala metropolitana, urbana o zonal, el espacio para la atención de la demanda de acceso vehicular al inmueble o desarrollo, así como para las labores de carga y descargue, deberá garantizar la acumulación de vehículos dentro del predio, de manera que no se generen colas sobre la vía pública.* Es por esto que el planteamiento geométrico de los accesos, además de las características que impongan el vehículo de diseño y la transición segura de velocidades, dependerá fundamental-

mente de lo que establezca el estudio de tránsito para el proyecto. Otras disposiciones podrán complementarse haciendo una revisión minuciosa de lo que establece el POT al respecto.

4. ANÁLISIS DE VISIBILIDAD

D

DISTANCIA DE VISIBILIDAD

Es la distancia sobre la vía que el conductor puede observar delante de él. La distancia de visibilidad mínima que dispone un conductor debe ser lo suficientemente larga, para que le permita transitar a una velocidad cercana a la de diseño y que al divisar un objeto al frente de su trayectoria pueda detenerse o ejecutar una determinada acción sin incurrir en maniobras difíciles que afecten sus condiciones de seguridad (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011).

El diseño de una vía debe garantizar una óptima visibilidad en cualquier tramo de su recorrido y así ofrecer a los usuarios, una circulación cómoda y segura. Es así que en este capítulo se explicarán los diferentes conceptos asociados a la distancia de visibilidad en un trazado vial urbano, que en general incluye las siguientes tipologías:

- Distancia de visibilidad de reacción.
- Distancia de visibilidad de parada.
- Distancia de visibilidad de adelantamiento en vías bidireccionales.

A continuación se describirá y detallará cada uno de estos tipos:

4.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REACCIÓN

La distancia de reacción se refiere a la longitud requerida para detectar algo inesperado o para percibir una fuente de información en un ambiente urbano, especialmente aplicable a arterias principales y secundarias, definir la reacción o acto a implementar, seleccionar la velocidad y el recorrido o ruta e iniciar la maniobra (basado en (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011).

$$D_{rv} = 0.695\ x\ Ve\ (1)$$

D_{rv} = *Distancia de reacción del conductor en metros para la velocidad de diseño.* Véase Tabla 18.
Esta es la distancia básica y mínima a considerar en ambientes urbanos, y su principal uso en corredores se asocia a la localización efectiva de señales informativas, reglamentarias y preventivas, localización de cruces peatonales, análisis de seguridad vial, entre otros aspectos. La distancia de visibilidad de reacción suele asociarse también a la distancia de decisión, referida a situaciones en las que los conductores deben tomar alguna determinación en un instante en

que se requiere percepción, intelección, emoción y volición (2.5 segundos), así como en la elección de un recorrido, el acato de una señal de tránsito, o la ejecución de una maniobra inusual o repentina.

4.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Es la distancia necesaria para que un vehículo que circula a la velocidad de diseño se detenga al ver un objeto en su camino, sin que haya lugar a maniobras peligrosas, colisiones o paradas súbitas. Este concepto se puede entender como la suma de dos distancias, la primera es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor observa el objeto o señal delante de él y el instante en que aplica los frenos del vehículo. La segunda es la distancia recorrida por el vehículo desde cuando el conductor aplica los frenos del vehículo y el instante en que se detiene.

Para estas consideraciones, se asume una altura del ojo del conductor, de 1.08 m, la cual es aceptable para medir distancias de parada y distancias de adelantamiento. Para tractocamiones debe considerarse una altura de 1.8 a 2.4 m, siendo 2.33 m la recomendada. Por su parte, la altura del objeto deberá ser de 0.20 m sobre la superficie de pavimento. Basado en INVIAS(2008), con algunos cambios sugeridos por la presente Guía.

A continuación se muestra la formulación con la cual se determina la distancia de visibilidad de parada a diferentes velocidades de diseño basada en (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011), utilizando un tiempo PIEV de 2.5 segundos y una rata de desaceleración de 3.6 m/s^2.

$$D_{vp} = D_{rv} + D_{fv} \quad (2)$$

D_{vp} = Distancia de visibilidad de parada en metros.
D_{rv} = Distancia de reacción del conductor en metros para la velocidad de diseño.
Ve = Velocidad específica del elemento en Km/h.

$$D_{fv} = 0.039 * \frac{(Ve)^2}{a} \quad (3)$$

D_{fv} = Distancia de frenado en metros para la velocidad de diseño.
a = Desaceleración uniforme del vehículo al momento de frenar en m/s^2.

En la siguiente tabla se muestran las distintas distancias de parada, a diferentes velocidades de diseño y pendientes, con base en (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

Tabla 18. Distancia de visibilidad de parada

"VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve (Km/h)"	"DISTANCIA DE REACCIÓN (m)"	"DISTANCIA DE FRENADO (m)"							"DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)"						
		< 3%	-3%	-6%	-9%	3%	6%	9%	< 3%	-3%	-6%	-9%	3%	6%	9%
20	13,9	4	4,29	4,29	4,30	4,29	4,29	4,29	18,23	18,19	18,19	18,20	18,19	18,19	18,19
30	20,9	10	9,66	9,66	9,66	9,65	9,65	9,65	30,60	30,51	30,51	30,51	30,50	30,50	30,50
40	27,8	17	17,17	17,18	17,18	17,16	17,15	17,15	45,13	44,97	44,98	44,98	44,96	44,95	44,95
50	34,8	27	26,83	26,84	26,85	26,81	26,80	26,79	61,83	61,58	61,59	61,60	61,56	61,55	61,54
60	41,7	39	38,63	38,65	38,66	38,61	38,60	38,58	80,70	80,33	80,35	80,36	80,31	80,30	80,28
70	48,7	53	52,59	52,60	52,62	52,55	52,54	52,52	101,73	101,24	101,25	101,27	101,20	101,19	101,17
80	55,6	69	68,68	68,71	68,73	68,64	68,62	68,60	124,93	124,28	124,31	124,33	124,24	124,22	124,20
90	62,6	88	86,93	86,96	86,98	86,87	86,84	86,82	150,30	149,48	149,51	149,53	149,42	149,39	149,37
100	69,5	108	107,32	107,35	107,39	107,25	107,21	107,18	177,83	176,82	176,85	176,89	176,75	176,71	176,68
110	76,5	131	129,85	129,90	129,94	129,77	129,73	129,69	207,53	206,30	206,35	206,39	206,22	206,18	206,14
120	83,4	156	154,54	154,59	154,64	154,44	154,39	154,34	239,40	237,94	237,99	238,04	237,84	237,79	237,74
130	90,4	183	181,37	181,43	181,48	181,25	181,19	181,13	273,43	271,72	271,78	271,83	271,60	271,54	271,48

Nota: Las velocidades de 100, 110 y 120 Km/h se enuncian para casos de Autopistas Urbanas, sin embargo su utilización dependerá de la normatividad vigente.

Fuente: (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

4.3 DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO EN VÍAS BIDIRECCIONALES

Para vías que poseen dos carriles que circulan en sentidos contrarios los conductores necesitan invadir el carril contiguo e incrementar su velocidad respecto al vehículo que va a sobrepasar para realizar la maniobra de adelantamiento. La distancia necesaria para realizar la maniobra de forma cómoda y segura se le denomina *Distancia de visibilidad de adelantamiento.*

Este tipo de distancia solo aplica para vías bidireccionales con un solo carril por sentido, y en el caso de Bogotá aplica para intermedias y locales. A nivel urbano la revisión de las distancias de adelantamiento no condiciona la generación de zonas de rebase ni la disposición de la demarcación horizontal, como suele suceder a nivel rural, pues en este caso son muchas más las variables que influyen, en función de los tipo de conexión vial, los movimientos permitidos, el

tránsito peatonal entre otras. No obstante, especialmente para arterias intermedias, o tramos de conexión, rampas, puentes y carriles exclusivos de transporte, es un control que definitivamente debe ser revisado.

A continuación se presenta una tabla que muestra las distancias recomendadas para realizar la maniobra de adelantamiento en calzadas bidireccionales de corredores arteriales con control de accesos. Para los demás casos este criterio no aplica.

Tabla 19. Distancias de visibilidad de adelantamiento para vías bidireccionales en corredores arteriales e intermedios con control de accesos

Velocidad de diseño (Km/hr)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	130	200	270	345	410	485	540	615	670	730	775

Nota: Las velocidades de 100, 110 y 120 km/h se enuncian para casos de Autopistas Urbanas, sin embargo su utilización dependerá de la normatividad vigente.

Fuente: Elaboración propia con base en (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008).

5. PARÁMETROS Y CRITERIOS DEL DISEÑO ALTIMÉTRICO

En el sector urbano, el diseño altimétrico debe satisfacer condiciones especiales que garanticen toda la seguridad y comodidad necesaria para los actores de la vía, de manera que se adapte lo mejor posible a la topografía y entorno del proyecto buscando además una integración de los distintos elementos que componen la sección transversal de la vía de una manera armónica y estética.

La topografía, suele ser el condicionante principal de los diseños altimétricos de vías urbanas, debido a que en muchos casos los diseños se deben acomodar a los distintos condicionantes y retos que la topografía impone. Sumado a esto, la presencia de predios consolidados a los cuales se les debe garantizar la accesibilidad de una forma segura y cómoda, es la topografía del terreno existente la que determine el diseño altimétrico. Lo mismo sucede con el manejo de accesos y empalmes existentes, los cuales se convierten en controles primarios del proyecto, y condicionarán todo el diseño de rasantes.

5.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS

5.1.1 Pendiente mínima

En vías urbanas, la pendiente mínima está gobernada por los problemas de drenaje, pues se debe garantizar el rápido y eficiente escurrimiento de las aguas lluvias en la superficie de rodadura, de forma que se eviten fenómenos de hidroplaneo. De acuerdo con lo anterior la pen-

diente mínima que se utilizará en el diseño vertical de vías urbanas es de 0.3%; estas pendientes deben ir acompañadas de las respectivas obras de drenaje a fin de garantizar la evacuación del agua.

5.1.2 Pendiente máxima

En cuanto a las pendientes máximas, los límites están condicionados por la velocidad de diseño, la jerarquía funcional de las vías, el tipo de terreno y las condiciones propias del entorno y el urbanismo de la zona. En Bogotá existen zonas producto de desarrollos informales, y otras donde los criterios de diseño no se han cumplido a cabalidad; sin embargo, en estas zonas cualquier mejoramiento en términos altimétricos podría impactar negativamente condiciones de accesibilidad, adquisición predial, redes de servicios públicos y costos principalmente. Así, en zonas consolidadas, las soluciones de mejoramiento deben propender por medidas de tráfico calmado, señalización, generación de espacio público, entre otras que permitan mitigar los riesgos.

Así, el diseño altimétrico de las vías urbanas debe acomodarse a la topografía existente debido a condicionantes urbanos que exigen que así sea. No obstante en vías arteriales y en otro tipo de vías en donde exista la posibilidad de elegir la pendiente del alineamiento vertical, como es el caso de puentes, túneles y corredores con control total de accesos, las pendientes longitudinales no deben superar el 5% o el 6%, según los condicionantes de la Tabla 20.

Por su parte, para proyectos nuevos en vías locales, se sugiere una pendiente máxima del 18%, con tránsito de vehículos livianos, exclusivamente, y con velocidades de diseño de 20 km/h. Según las variables mencionadas, se recomiendan las siguientes pendientes máximas para Bogotá D.C., (proyectos nuevos):

Tabla 20. Pendientes máximas permitidas en proyectos nuevos

				VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h) - APLICA PARA PROYECTOS NUEVOS										
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	JERARQUÍA	SECCIÓN TRANSVERSAL (m)	CONDICIÓN DE COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Malla Vial Arterial Principal	V0	100	Vehículos pesados o Transporte Público o Masivo >= 5%	---	---	---	---	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%
			Vehículos pesados o Transporte Público o Masivo <5%	---	---	---	---	7%	6%	5%	5%	5%	5%	4%
	V1	60	Vehículos pesados o Transporte Masivo >=5%	---	---	---	---	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%
			Vehículos pesados o Transporte Masivo <5%	---	---	---	---	7%	6%	5%	5%	5%	5%	4%
Malla vial Arterial Complementaria	V2	40	Vehículos pesados o Transporte Público o Masivo >=5%	---	---	7%	7%	7%	7%	6%	6%	5%	5%	---
			Vehículos pesados o Transporte Público o Masivo < 5%	---	---	10%	9%	8%	7%	7%	6%	6%	6%	---
	V3	25-30	Transporte Público >=5%	---	---	7%	7%	7%	7%	6%	6%	5%	5%	---
			Transporte Público <5%	---	---	10%	9%	7%	7%	7%	6%	6%	6%	---
Malla vial Arterial Intermedia	V4	22	Transporte Público >5%	12%	10%	9%	8%	8%	---	---	---	---	---	---
			Transporte Público <5%	15%	12%	10%	9%	8%	---	---	---	---	---	---
	V5	18	Transporte Público >5%	12%	11%	10%	9%	8%	---	---	---	---	---	---
			Transporte Público <5%	15%	12%	10%	9%	8%	---	---	---	---	---	---
	V6	16	Transporte Público >5%	15%	12%	10%	11%	9%	---	---	---	---	---	---
			Transporte Público <5%	15%	12%	11%	10%	9%	---	---	---	---	---	---
Malla vial Local	V7	13	Cualquiera	18%	15%	12%	---	---	---	---	---	---	---	---
	V8	10	Cualquiera	18%	15%	12%	---	---	---	---	---	---	---	---

Nota: Las velocidades de 100, 110 y 120 Km/h se enuncian para casos de Autopistas Urbanas, sin embargo su utilización dependerá de la normatividad vigente.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Gálibos

Las distancias libres verticales o gálibos verticales deben ser mínimo de 5.0 m medidos a partir de la superficie de rodadura hasta la cota inferior de la estructura y a lo largo de toda la calzada; en zonas con pasos sobre líneas férreas, el gálibo vertical debe ser de 5.5 m.

5.1.4 Curvas verticales

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, permitiendo la transición de pendientes entre el alineamiento de entrada y el alineamiento de salida. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas, simétricas o asimétricas y están compuestas por los elementos geométricos que se mencionan a continuación, en función de lo establecido por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de 2008 (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008):

Figura 32. Elementos de las curvas verticales

TIPO	VERTICAL	ELEMENTOS		
			Simétrica	Asimétrica
		PCV	Principio de la Curva Vertical	
		PIV	Punto de Intersección de las Tangentes Verticales	
		PTV	Terminación de la Curva Vertical	
		S1	Pendiente de la tangente de entrada en porcentaje	
		S2	Pendiente de la tangente de salida en porcentaje	
		L1	Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal, en metros.	
		L2	Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal, en metros.	
		L	Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros	
			L=L1+L2; L1=L2	L=L1+L2; L1≠L3
		A	Diferencia algebráica de pendientes, en porcentaje $A=\|S1-S2\|$	
		E	Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, dada en metros $E=\frac{A*L}{800}$ $E=\frac{A*L1*L2}{200*(L1+L2)}$	
		X1	Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV.	
		X2	Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV.	
		Y1	Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PCV. $Y1=X1^2*\left(\frac{A}{200*L}\right)$ $Y1=E*\left(\frac{X1}{L1}\right)^2$	
		Y2	Ordenada vertical en cualquier punto de la primera rama medida desde el PTV. $Y2=X2^2*\left(\frac{A}{200*L}\right)$ $Y2=E*\left(\frac{X2}{L2}\right)^2$	

Fuente: elaboración propia.

La longitud de las curvas verticales está directamente relacionada con la distancia de visibilidad de parada considerando una altura del ojo del conductor, de 1.08 m, y una la altura del objeto de 0.6 m sobre la superficie de pavimento (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011).

Para curvas convexas, la longitud mínima de la circular, por criterios de seguridad vial, estará dada por la expresión (4).

$$L = \frac{A * {D_p}^2}{658} \qquad (4)$$

Donde A es la diferencia algebraica de pendientes, Dp la distancia de visibilidad de parada y L, la longitud mínima de la circular.

Para el caso de curvas cóncavas la expresión para determinar la longitud mínima de la curva (5) considera las restricciones que se presentan en la noche y estima la longitud del sector de carretera iluminado hacia adelante, como la distancia de visibilidad. Dicha distancia depende de la altura de las luces delanteras del vehículo, para la cual se asume un valor de sesenta centímetros (0.60 m) y un ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba respecto al eje longitudinal del vehículo de un grado (1°). Incluyendo dichas constantes, la fórmula a aplicar es:

$$L = \frac{A * {D_p}^2}{120 + 3.5 * D_p} \qquad (5)$$

Donde A es la diferencia algebraica de pendientes, Dp la distancia de visibilidad de parada y L, la longitud mínima de la circular.

No obstante, debe tenerse en cuenta que para evitar un cambio súbito de pendiente, permitiendo que el perfil de la vía tenga una apariencia armoniosa que garantice comodidad, es necesario revisar que la longitud de la curva no sea menor que 0.6 veces la velocidad específica del elemento.

Además, según (INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, 2008) para que en el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa, o en el más bajo de la curva cóncava con pendientes, S1 y S2 de diferente signo, se tiene un tramo corto con pendiente igual a 0%, que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual se considera que un valor de A igual a 0.6% en un tramo de la curva igual a 30 m, provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva, es decir se cumple con: K=30/0.6=50.

Para garantizar el drenaje adecuado se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).

A continuación se resumen las longitudes de curva requeridas para ciertas diferencias algebraicas de pendiente a diferentes velocidades.

Tabla 21. Longitudes mínimas para curvas verticales

"Velocidad específica Ve (Km/h)"	Dp	A Convexa																				
		0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	18,23	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
30	30,60	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	28	29
40	45,13	24	24	24	24	24	24	24	24	25	28	31	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62
50	61,83	K>50	30	30	30	30	30	35	41	47	53	59	64	70	76	82	88	93	99	105	111	117
60	80,70	K>50	36	36	36	40	50	60	70	80	90	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	198
70	101,73	K>50	42	42	48	63	79	95	111	126	142	158	174	189	205	221	236	252	268	284	299	315
80	124,93	K>50	48	48	72	95	119	143	167	190	214	238	261	285	309	333	356	380	404	427	451	475
90	150,30	K>50	K>50	69	103	138	172	206	241	275	309	344	378	412	447	481	515	550	584	618	653	687
100	177,83	K>50	K>50	97	145	193	241	289	337	385	433	481	529	577	625	673	721	769	818	866	914	962
110	207,53	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50
120	239,40	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50
130	273,43	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50

"Velocidad específica Ve (Km/h)"	Dp	A Concava																				
		0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	18,23	12	12	12	12	12	12	12	13	15	17	19	20	22	24	26	28	29	31	33	35	37
30	30,60	18	18	18	18	18	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	62	66	71	75	79	83
40	45,13	24	24	24	24	30	37	44	52	59	66	74	81	88	96	103	110	118	125	132	140	147
50	61,83	K>50	30	30	35	46	57	69	80	91	103	114	126	137	148	160	171	182	194	205	216	228
60	80,70	K>50	36	36	49	65	81	98	114	130	146	162	179	195	211	227	243	259	276	292	308	324
70	101,73	K>50	42	44	66	87	109	131	153	174	196	218	240	261	283	305	327	348	370	392	414	435
80	124,93	K>50	48	57	85	113	141	169	197	225	253	281	309	337	365	393	421	449	477	505	533	561
90	150,30	K>50	K>50	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	665	700
100	177,83	K>50	K>50	86	128	171	213	256	299	341	384	426	469	512	554	597	639	682	725	767	810	852
110	207,53	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50
120	239,40	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50
130	273,43	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50	K>50

Fuente: Elaboración propia.

5.2 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

A continuación se presenta un diagrama de flujo que resume los pasos y elementos a considerar en el proceso de diseño altimétrico de un corredor:

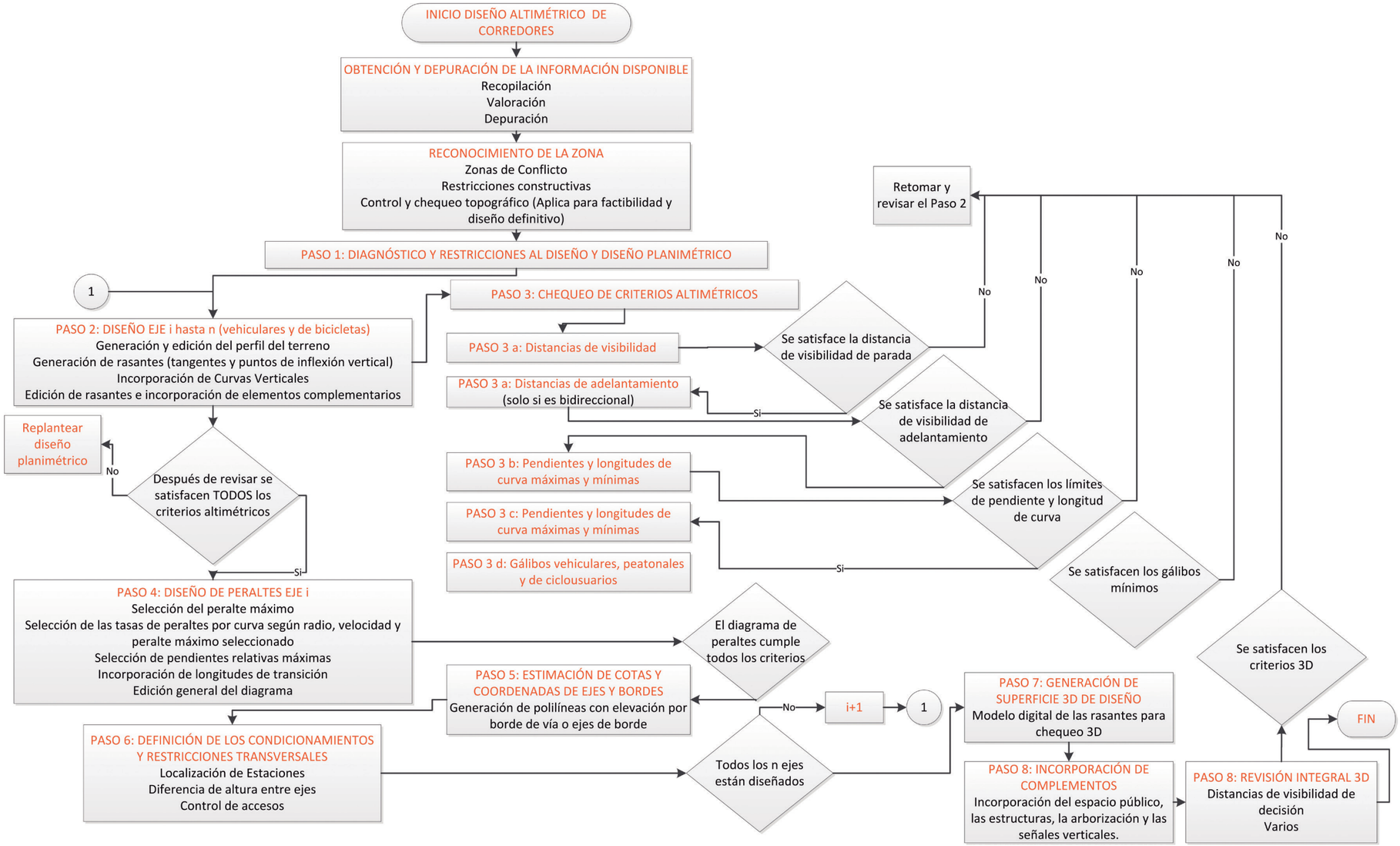
- **Paso 1:** deben considerarse todas las restricciones estimadas del diagnóstico, los procedimientos señalados en el Capítulo 2 y los resultados de la aplicación de la Figura 5. Diagrama de flujo resumen del diseño geométrico en planta.

- **Paso 2:** corresponde en primera instancia a la generación y edición del perfil del terreno; deberá revisarse la coherencia de la topografía de forma tal que en el perfil sean evidentes las corrientes de agua, el cruce con vías existentes y otras diferencias de altura apreciables en la realidad. Para esto se requerirá de un modelo digital del terreno generado con base en los puntos con elevación del levantamiento y líneas 3D de los ejes y los bordes de vía. Tras la generación de los perfiles se iniciará el diseño de las rasantes, teniendo en cuenta los gálibos vehiculares y peatonales, la Tabla 20: Pendientes máximas permitidas en proyectos nuevos y la Tabla 21: Longitudes mínimas para curvas verticales.

  Los perfiles y rasantes deberán editarse y presentarse como lo especifica el Capítulo 5 de esta Guía.

- **Paso 3:** una vez construido el eje se debe revisar el cumplimiento de los siguientes criterios:
  - Distancia de visibilidad de parada: Tabla 18.
  - Distancia de visibilidad de adelantamiento, si el corredor es bidireccional: Tabla 19.
  - Pendientes y longitudes de curva: máximas y mínimas, gálibos vehiculares: peatonales y de ciclousuarios, con base en el numeral 5.1.

Figura 33. Diagrama de flujo para el diseño altimétrico de corredores



Fuente: Elaboración propia.

- **Paso 4:** los peraltes deben ser diseñados a partir de la definición del peralte máximo, con los criterios expuestos en el numeral 2.1.1 Peralte máximo en vías arteriales e intermedias. El diagrama deberá generarse según los resultados que se obtengan de la Tabla 5. Grados de Curvatura máximos para diferentes velocidades de diseño y peraltes máximos, la Tabla 6. Tasas de peraltes para determinados radios, velocidades y peraltes máximos, la Tabla 7. Máximas Pendientes Relativas y el numeral 2.3 TRANSICIÓN DEL PERALTE.

- **Pasos 5 y 6:** una vez revisado el diseño de rasantes y peraltes podrán establecerse las cotas de pavimento por eje y borde de calzada, las cuales serán útiles para obtener las rasantes de tales bordes, representadas mediante ejes y rasantes adicionales o polilíneas con elevación. Las cotas de los bordes, además de ser necesarias para la construcción, se requieren para el control altimétrico que debe darse transversalmente entre ejes, para garantizar por ejemplo: zonas con pendiente longitudinal 0% requeridas para estaciones del sistema Transmilenio, separadores con pendientes transversales que garanticen paso peatonal seguro, control de gálibos verticales por borde, control de accesos respecto a la rasante de paramentación, entre otros aspectos.

  La presentación de cotas y coordenadas se realizará según las especificaciones del Capítulo 5 de esta Guía.

- **Paso 7:** una vez construidos todos los ejes y teniendo las cotas de eje y borde de todos los corredores involucrados se podrá construir una superficie o modelo de elevación digital que permita la visualización del proyecto en tres dimensiones.

- **Paso 8:** al modelo en 3D será necesario incorporarle el diseño de espacio público y paisajismo, el diseño estructural, así como el diseño de la señalización vertical, con el fin de visualizar integralmente el proyecto, incluyendo todas las áreas involucradas y permitiendo un mejor acercamiento a las condiciones en que quedaría el proyecto construido.

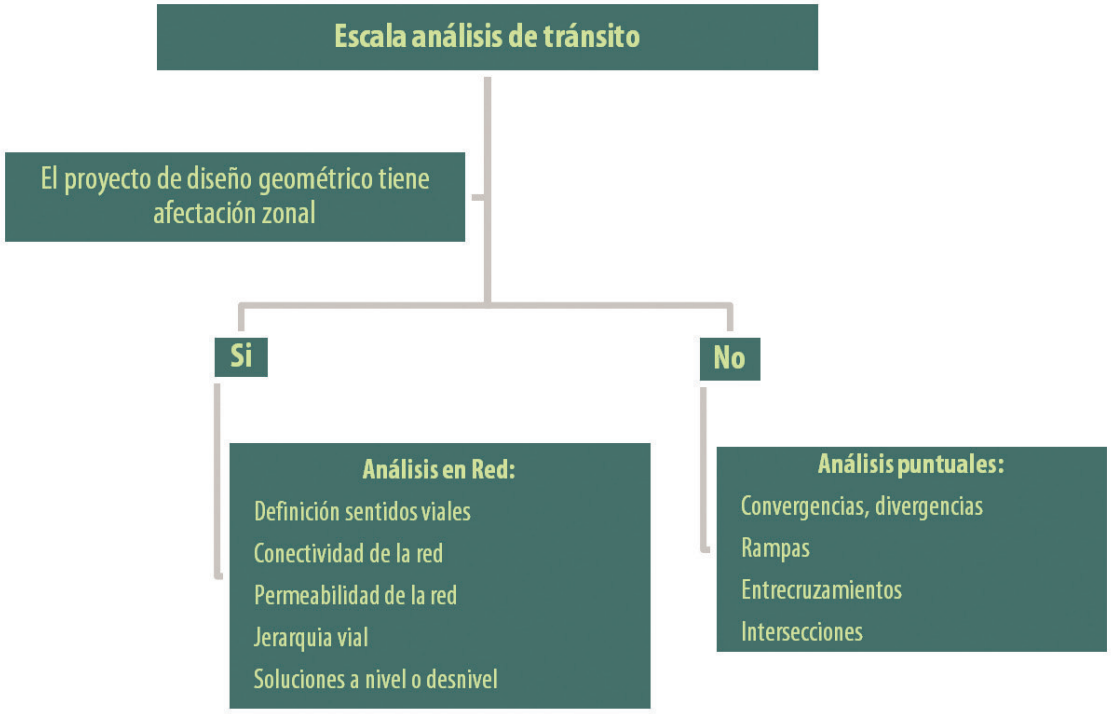
- **Paso 9:** sobre el modelo completo generado en el paso 8 y haciendo uso del criterio del especialista y de herramientas de software especializadas, se podrá identificar el cumplimiento de algunos criterios complementarios principalmente asociados a la distancia de decisión (respecto a las señales verticales), la distancia de visibilidad de parada, los triángulos de visibilidad en cruces, los conflictos potenciales (vehículo-vehículo y con no motorizados), la exposición a la accidentalidad, la integración del diseño con el entorno (árboles, mobiliario, estructuras), entre otros elementos necesarios para la operación eficiente, segura y cómoda del proyecto

6. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EN CORREDORES

El análisis de tránsito debe evaluar el impacto que tiene la modificación de la infraestructura vial en la operación de los distintos actores viales, buscando con esto determinar si el diseño geométrico propuesto, hasta el momento, atiende las necesidades de demanda y movilidad de cada usuario de la vía y, en caso contrario hacer las recomendaciones que desde el área de tránsito permitan una mejora en el diseño geométrico o en el manejo operacional de los flujos de tránsito.

Por consiguiente, de acuerdo con la escala geográfica del proyecto de diseño geométrico, el análisis de tránsito debe plantearse desde una escala zonal o análisis en red y/o una escala puntual o análisis de los elementos geométricos del corredor (rampas, divergencias, convergencias, entrecruzamiento e intersecciones). En la Figura 34 se ilustra el criterio de selección de la escala de análisis, sin embargo, tal definición debe ser consecuente con las políticas distritales y según los requerimientos de la entidad correspondiente.

Figura 34. Escala de análisis de tránsito en corredores



Fuente: Elaboración propia.

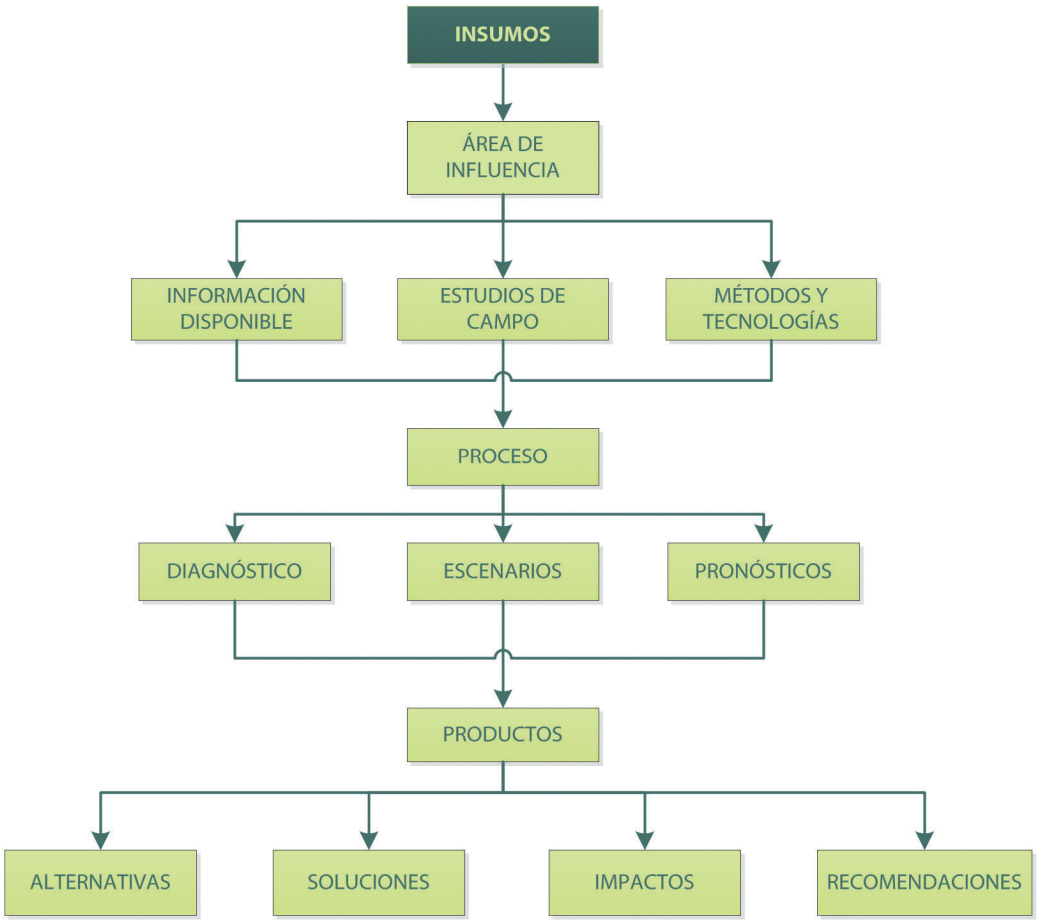
El análisis de tránsito debe incorporar una visión intermodal que incluya la afectación que tengan sobre la red vial distintos elementos de la red vial, esto es estacionamientos, paraderos, paso de peatones, de ciclousuarios y movilidad reducida, de tal forma que el análisis puntual se oriente a corroborar que los elementos de la vía ofrezcan la capacidad suficiente para las demandas previstas.

6.1 ANÁLISIS EN RED

El análisis en red se debe abordar cuando el proyecto de diseño geométrico genere una afectación sobre la malla vial aledaña que suponga un cambio importante en sus condiciones de operación, siendo el objetivo principal asegurar que el diseño propuesto se relacione con el sistema vial y de transporte existente, pero sin generar traumatismos en la operación de los distintitos flujos de tránsito y garantizando la solución segura y cómoda a las condiciones de movilidad de los distintos usuarios.

Tal evaluación contempla varias etapas subsecuentes, que inician con la definición del alcance hasta la elaboración del reporte final. El Capítulo 5 "Términos de Referencia Generales" del tomo II del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005) presenta un desarrollo estructurado acerca del desarrollo de este tipo de estudios, el cual se resume como se indica en Figura 35.

Figura 35. Proceso simplificado ejecución de los estudios



Fuente: Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte (Secretaria de Tránsito y Transporte, 2005).

Como se puede apreciar, el análisis en red implica la consideración de una o varias alternativas de diseño u operación de la red vial, de tal forma que garantice la optimización de la accesibilidad, conectividad y seguridad vial en el área de influencia (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte, Cal y Mayor Asociados, 2005).

Las principales etapas a considerar dentro del desarrollo del estudio de tránsito según (Federal Highway Administration, 2011):

6.1.1 Definición de la metodología y alcance

De acuerdo con el propósito del proyecto se debe definir claramente su alcance, e incluir la identificación del área de influencia, la metodología de evaluación, las herramientas a utilizar y los datos de campo e insumos requeridos para desarrollar el estudio.

Cobra relevancia asegurar que el área de influencia escogida sea aquella que recoja los efectos de la modificación hecha sobre el sistema vial, de tal forma que se consideren los cambios provocados en la asignación del tránsito en la red y su efecto sobre la vías e intersecciones existentes.

En la selección de la metodología de evaluación han de considerarse las herramientas disponibles para la evaluación y/o la necesidad de contar con modelos desarrollados que puedan reflejar de mejor manera el carácter dinámico y estocástico del tránsito.

- Recolección de información

La siguiente etapa corresponde a la recolección de información requerida para adelantar la evaluación de las alternativas, el tipo de información está en función de la metodología y herramientas de análisis utilizadas, así, por ejemplo sí el proyecto requiere de un análisis en red amerita un volumen de información mayor que si se trata de una evaluación puntual.

En general, se debe recolectar la información que permita caracterizar el tránsito, sistema de transporte, dispositivos de control y sistema vial del proyecto. Asimismo, se requiere recolectar la información que será utilizada para calibrar los modelos de simulación y/o herramienta de análisis utilizados.

- Desarrollo del modelo

En esta etapa se adelanta el desarrollo de los modelos base que permitan evaluar las alternativas y se agrega la información requerida por la herramienta de análisis utilizada. Asimismo, siempre que se haga uso de herramientas de análisis, sean estas determinísticas o estocásticas, a nivel macroscópico o microscópico, se debe llevar a cabo el chequeo de errores en el modelo, haciendo uso de la experiencia del profesional e indicaciones propia del desarrollador del software.

Finalmente, se deben comparar los resultados obtenidos del software respecto de los observados en campo; tal actividad corresponde a la calibración del modelo y debe orientarse a que éste represente con un buen grado de exactitud las condiciones vista en la realidad.

➦ Análisis de alternativas

El análisis de alternativas corresponde a la aplicación de las herramientas para la evaluación de alternativas, comparándolas con el escenario base, en los diferentes horizontes de demanda futura que se tenga previsto analizar.

Esta etapa incluye la selección de los indicadores de operación que se utilizarán para comparar las alternativas, así como el procesamiento y presentación de estos resultados en tablas y gráficos, como insumo para la matriz multicriterio.

➦ Reporte final

La última etapa es la compilación de las anteriores actividades en el documento final, resumiendo los aspectos principales de cada actividad que aporten entendimiento del proceso de evaluación y de los resultados obtenidos. Asimismo, el documento deberá recoger los análisis hechos a la luz de la experiencia del profesional, los cuales están fuera de las capacidades de la herramienta y se relacionan con la integración de cada alternativa al contexto urbano en términos de conectividad y accesibilidad.

Este reporte final deberá ser concluyente respecto de las recomendaciones en materia de tránsito para las distintas alternativas evaluadas, e incluso respecto de la selección de la alternativa que ofrece mejores indicadores desde esta óptica.

6.2 ANÁLISIS PUNTUAL

Según el anterior aparte, cuando se llega al análisis puntual dentro de la evaluación del tránsito, ya debe haberse agotado la selección del diseño que optimiza de mejor manera la accesibilidad, conectividad y seguridad vial en el área de influencia. Así, corresponde a nivel puntal verificar que los elementos de la vía estén dimensionados para albergar el paso de las demandas vehiculares y de flujos no motorizados previstas en cada horizonte de evaluación.

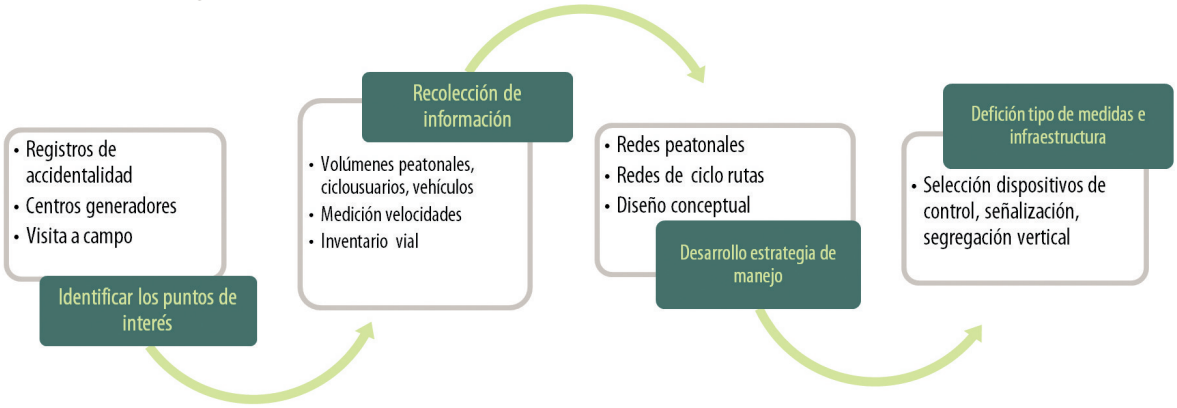
Para el caso de corredores se consideran, como elementos puntuales, los puntos donde convergen o divergen corrientes de tráfico, y que ocasiona la presencia de turbulencia en las mismas por las maniobras de entrecruzamiento e incorporación de una corriente vehicular sobre la vía a la que busca acceder. Véase Capítulo 4.

6.3 ANÁLISIS DE FLUJOS NO MOTORIZADOS

Los análisis de tránsito para flujos no motorizados deben partir de la identificación clara de las necesidades y objetivos del proyecto, de cara a una comprensión integral de la relación entre la vía, su entorno, usos del suelo y demás aspectos que permitan determinar la escala de las intervenciones.

Para tal cometido, el componente de tránsito debe desarrollar un proceso que soporte los diseños de las facilidades destinadas a los usuarios no motorizados, tal como se ilustra en la Figura 36.

Figura 36. Proceso diseño de facilidades a modos no motorizados



Fuente: Elaboración propia con base en (Federal Highway Administration, 2008).

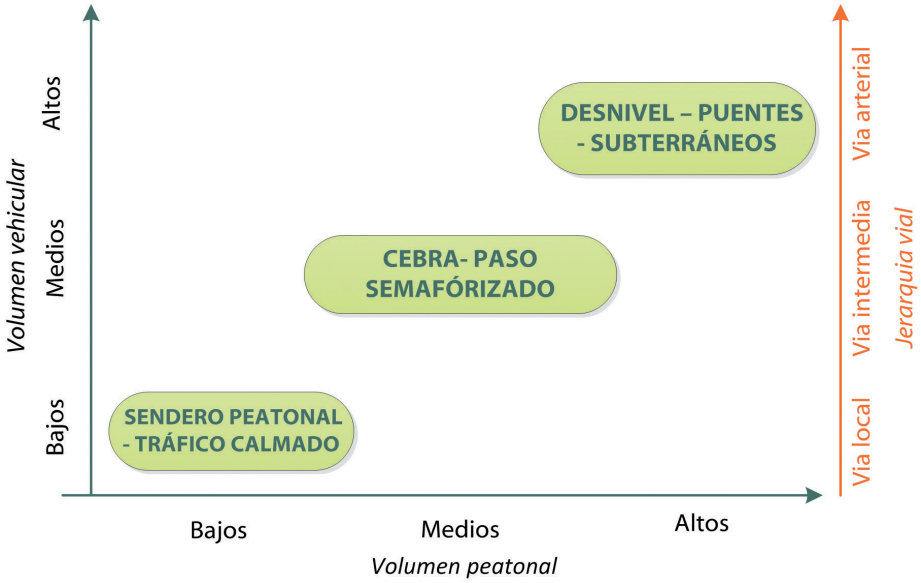
Las dos primeras actividades se basan en el análisis y recolección de información primaria y secundaria y a partir de ésta, se identifican las necesidades de los flujos no motorizados y los aspectos que determinen su relación con el entorno. Las últimas dos actividades consisten en la planeación del manejo de peatones y ciclousuarios dentro del entorno urbano y, la definición de los dispositivos y tipo de infraestructura destinada a estos usuarios.

En general, de acuerdo con el Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2000) se debe prestar atención a la solución de los flujos no motorizados en los puntos en que su desplazamiento se interrumpe por flujos motorizados; con particular cuidado de los puntos cercanos a centros generadores de tráfico no motorizado tales como zonas de transferencias de transporte, centros de negocios y servicios, centros educativos, sectores con alta accidentalidad; asimismo, se debe considerar la inclusión de soluciones peatonales y a lo largo de todo el corredor.

La selección del tipo de solución debe considerar varios aspectos, según los cuales, se determine la prioridad de los flujos no motorizados frente al vehículo. De esta manera, se debe entrar a evaluar la integración de la solución en el entorno urbano que le rodea, el tipo de vía, sistemas de transporte, volúmenes de los flujos no motorizados (Ayuntamiento de Madrid, 2000) y asimismo los usuarios potenciales que utilizarán una u otra facilidad destinada para su tránsito (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005).

En cuanto a los pasos peatonales entre costados del corredor, las alternativas de solución para los flujos peatonales incluyen desde senderos peatonales que en general deben ser acompañados por medidas de reducción de la velocidad de los vehículos, pasando por pasos semaforizados, hasta la segregación vertical de los peatones frente a los vehículos. En la Figura 37 se observan esquemáticamente los criterios generales para elegir cada alternativa según sea el volumen de vehículos y peatones y la jerarquía vial.

Figura 37. Criterios generales para facilidades peatonales



Fuente: Elaboración propia con base en (Ayuntamiento de Madrid, 2000)

Cabe anotar que, a medida que se incrementa la jerarquía vial y los volúmenes peatonales y vehiculares en conflicto se requieren mayor segregación de los modos no motorizados, hasta optar por soluciones a desnivel. Sin embargo, el análisis de las soluciones peatonales no está relacionado únicamente con un rango de volúmenes vehiculares y peatonales, sino que por el contrario tiene que ver con el entorno, la función y geometría de las vías, las velocidades, los usos del suelo, entre otros factores que conducen a que cada caso sea particular. Por ejemplo, para el caso de semáforos, en Bogotá se considera que 250 peatones es un rango "medio" que motivaría el análisis de implementación de un semáforo (con base en Corporación Fondo de Prevención Vial y Ministerio de Transporte, 2004), pero varía según sea el volumen vehicular en conflicto y según la existencia y geometría de separadoradores de calzada o zonas de resguardo peatonal.

A nivel distrital, el Decreto 279 de 2003 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2003) presenta varios lineamientos a considerar para la construcción de puentes peatonales; para efectos de la presente guía, dichas recomendaciones pueden emplearse para la localización de pasos peatonales segregados verticalmente respecto al tránsito vehicular. La selección de los flujos que se elevan o se deprimen, dependerá de las particularidades de cada proyecto y las condiciones

geométricas, topográficas, urbanísticas, geotécnicas, estructurales, entre otras. En todo caso, debe tenerse en cuenta que el diseño debe propender por la prevalencia de los actores más vulnerables como el peatón y el ciclista. Así, las recomendaciones establecen que:

- La distancia mínima entre pasos peatonales segregados verticalmente en corredores arteriales, será de 500 m en zonas residenciales. En zonas comerciales, servicios o dotacionales se puede llegar hasta 250 m.

Asimismo, el Decreto en mención establece la prioridad de implementación de pasos peatonales a desnivel según la siguiente lista.

- Las vías con altos índices de saturación, en razón a los volúmenes de tránsito en las que no existan cruces semaforizados.
- Los desarrollos de alta concentración comercial.
- La presencia de edificios dotacionales y equipamiento urbano, dando preferencia a escuelas y hospitales.
- Las vías con trazados sinuosos que generen poca visibilidad, en áreas de demanda de cruces peatonales.
- Las vías con índices de accidentalidad.
- Las vías con cambios de sentido de los flujos vehiculares.
- Las vías de alta velocidad.

Finalmente, es importante recalcar que los criterios que se ilustran en la Figura 37 son de carácter general y en consecuencia, la solución que se implemente en cuanto al dimensionamiento de los anchos de los senderos peatonales, tiempo de los controles semafóricos, diseño de los pasos elevados o subterráneos para peatones entre otras posibles alternativas, debe estar soportado en los análisis del tránsito y de las condiciones del entorno para el caso particular que se trate.

7. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

7.1 PAISAJISMO

En la composición y diseño de la red vial, se deberán analizar las posibilidades y oportunidades que ofrece la topografía, no solamente para abaratar costos de construcción, sino también, para mejorar la articulación paisajística de las calles, reducir impactos sonoros, facilitar la comprensión de la red, ofrecer puntos de vista, facilitar el saneamiento, etc. (Ayuntamiento de Madrid, 2000).

Desde el punto de vista de la morfología de los árboles, la recomendación es que cuando van a tener una ubicación alineada cumplan con las siguientes características: las especies deben ser de forma regular, es decir, tronco principalmente recto o que se bifurque a cierta altura, permi-

tiendo el paso por debajo, cuyas raíces no destrocen pavimentos, toleren la escasez de suelo, la contaminación urbana, la escasez de sol, tengan un tiempo de vida medio o largo, sean resistente a enfermedades, admitan poda suave y no produzcan patologías o alergias respiratorias a los usuarios. Se recomienda no usar árboles de frutos grandes que puedan producir daño en su caída.

En ubicaciones de forma alineada se recomienda la combinación de árboles caducos y perennes, de manera que se disminuya la sombra en ciertas épocas del año pero sin perder la belleza visual del arbolado.

En calles estrechas deben utilizarse como arbolado de alineación especies de altura, diámetro de copa y troncos pequeños, hojas pequeñas y pocas raíces o que necesiten escaso suelo.

En general, en las aceras y bulevares, se recomiendan árboles que actúen como elementos de sombra, de diámetro grande, copa ancha, que permitin el paso por debajo y den sombra media o densa. Debe garantizarse que la altura y estructura de los árboles de las zonas laterales a la calzada, mantenga libre de ramas un espacio 4.2 m sobre la calzada y 2.3 m sobre vías para ciclistas y peatones.

El sitio determina las características a tener en cuenta para la plantación de las especies, el tipo y la ubicación más adecuada; se recomienda que los árboles de sombra a lo largo de una carretera sean plantados entre 4.5 m y 7.6 m, en el centro de la franja correspondiente para permitir el desarrollo de las raíces. Las plantas ornamentales y palmeras en la misma zona podrían ser plantadas 2.45 m de 3.0 m en el centro.

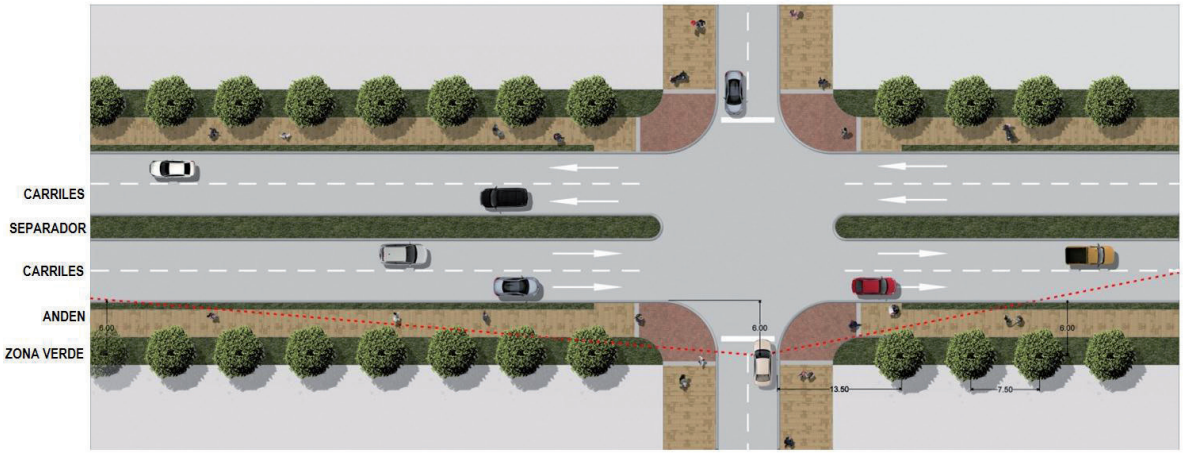
7.1.1 Paisajismo recomendado para calles colectoras y locales

El paisajismo, en armonía con el carácter de la calle y su medio ambiente, debe ser proporcionado con fines estéticos y como control de la erosión en algunos casos. Los diseños de paisajismo proyectados deben permitir un adecuado nivel de paseo peatonal transparente y seguro para todas las personas, incluidas aquellas que poseen alguna discapacidad, ciclistas y peatones. Las combinaciones de césped, arbustos y árboles deben ser dispuestas en las zonas verdes anteriores al paramento, y continuas a lo largo del camino. El diseño del paisajismo también debe considerar los problemas de mantenimiento, costos futuros, aceras, servicios públicos, carriles adicionales e instalaciones posibles para bicicletas.

7.1.2 Paisajismo en accesos

Los troncos de los árboles dentro de los límites de distancia del acceso o de la intersección no deben bloquear la visibilidad. Los árboles deben ser suficientemente permeables para proporcionar al conductor una visión entrecruzada, es decir deben tener un mínimo de 6.1 m de distancia desde la carretera a la que se acerca (línea de frenado); la visualidad abarca la parte inferior de las ramas de los árboles entre los troncos.

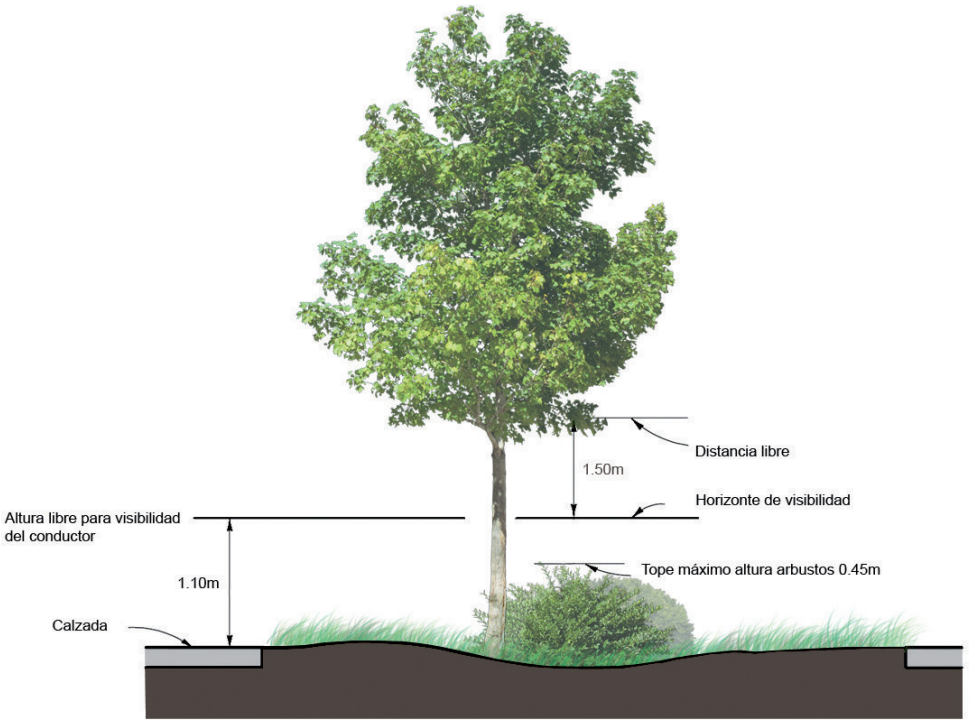
Figura 38. Líneas de visión para conductor, libres de obstáculos



Fuente: Elaboración propia.

La línea de referencia para la visibilidad sin obstáculos desde el vehículo, se establece desde el horizonte de visibilidad del conductor, conservando una transparencia visual por encima de la ventana de 1.50 m. Véase Figura 39 y 40.

Figura 39. Líneas de visión para conductor, libres de obstáculos (Arborización)



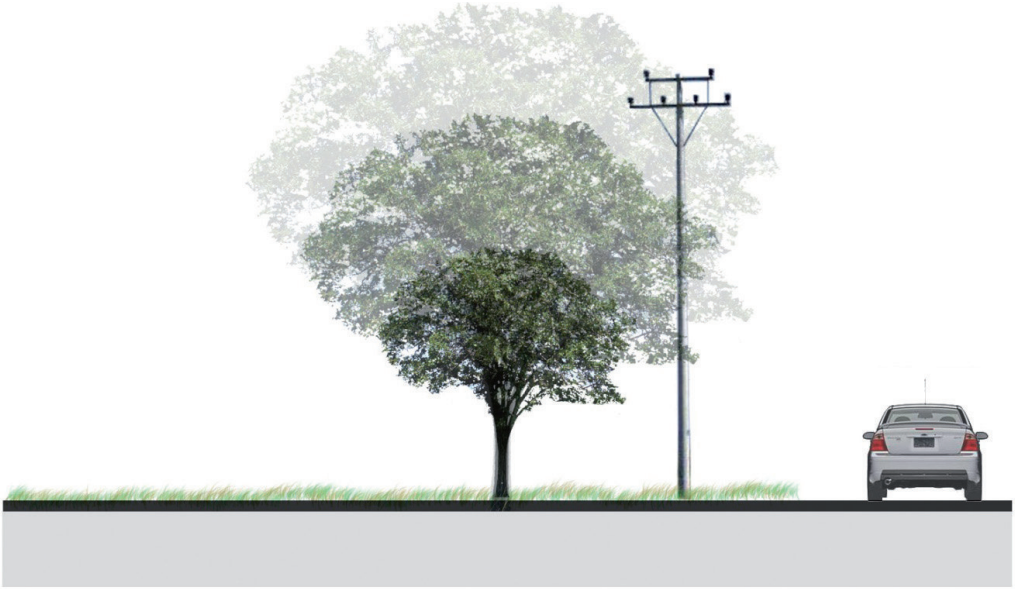
Fuente: Elaboración propia.

En los accesos, la localización de los arboles estará determinada por la velocidad de diseño y las correspondientes distancias de visibilidad; temas que se tratarán en el capítulo de intersecciones (Capítulo 4).

El giro estándar no permite el uso de árboles entre el bordillo y la línea del jardín derecho de paso, con el fin de conservar la visibilidad requerida. El ancho de la parte posterior de la acera (la franja abordadora) está diseñado para albergar las redes de servicios públicos y esporádicamente plantas ornamentales o césped. No hay anchura suficiente en cualquiera de estas áreas verdes para instalar árbol.

La plantación de árboles en áreas con servicios públicos hace necesario ejecutar una planeación previa de las especies, con el fin de evitar interferencias con dichas redes. Por ejemplo para el caso de las redes eléctricas aéreas la planeación abarca hasta los 10 años, periodo de máximo desarrollo del árbol (véase Figura 40).

Figura 40. Árbol proyectado su crecimiento



Fuente: Elaboración propia.

7.2 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD

La malla vial de la ciudad se concibe como una red que se interconecta entre sí presentando cada vía una vocación de uso, así, como se describió en el Capítulo 1, se cuenta con vías arteriales, intermedias y locales. Sin embargo, la interacción entre estas vías, la presencia de congestión y la diversidad de usos de suelo sobre un mismo corredor vial, hace que algunas vías terminen soportando flujos vehiculares con velocidades que no están acordes a la jerarquía de la misma, siendo esto adverso a las actividades de escala humana que se desarrollen, lo que conlleva a que se tomen medidas para regular el fenómeno y mitigar los efectos colaterales y contraproducentes de las altas velocidades y volúmenes vehiculares.

Tales medidas son denominadas Tráfico Calmado, de acuerdo con Sanz Alduan citado en (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005).

El tráfico se puede calmar en dos sentidos: primero mitigando la velocidad a la que circulan los vehículos y que se trata de una medida puntual en áreas determinadas y segundo reduciendo el número de vehículos que circulan por las vías, siendo ésta una medida asociada con políticas de transporte, sin aplicación en la presente Guía.

En relación con las medidas que mitigan la velocidad, la implementación de estas conlleva una evaluación integral del sector, partiendo del diagnóstico de las condiciones de operación actuales en los conflictos entre usuarios motorizados y no motorizados y, contemplando la consistencia entre las medidas de tráfico calmado y el entorno urbano. En general se debe prestar atención a los siguientes aspectos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005) y (Department of Transport, 2004):

- Jerarquía vial.
- Usos del suelo, tipo de actividad que se desarrolla.
- Volúmenes vehiculares, de peatones y ciclousuarios.
- Composición vehicular (presencia de vehículos de carga pesada).
- Velocidad de operación de los vehículos.
- Presencia de transporte público.
- Efectos de borde: Trasladar el problema de velocidad y congestión a otras vías.
- Condiciones de visibilidad.
- Topografía.
- Necesidades de drenaje.
- Índices de accidentalidad.

De igual forma, deben considerarse los efectos desfavorables de las medidas previstas, en general asociadas a la receptividad de las mismas por la comunidad, tales como el impacto en los vehículos, la generación de ruido, disminución en cupos de estacionamiento y el traslado de los vehículos a zonas adyacentes.

Las medidas de tráfico calmado pueden ser por tratamientos en la superficie de la vía o en tratamiento del alineamiento horizontal; a continuación se describen someramente algunas de las medidas más utilizadas. En todo caso las medidas de reducción de velocidad que se diseñen deben estar contempladas con señalización vertical y demarcación, con el fin de cumplir el objeto para el cual fueron diseñadas y no representar inseguridad para los usuarios.

7.2.1 Resaltos

Se trata de un elevamiento de la superficie del pavimento dispuesta transversalmente a la vía; es una de las medidas más restrictivas a la operación de los vehículos y por ende su uso debe ser rigurosamente evaluado con el fin de no generar efectos negativos.

Es recomendable que estos elementos se repitan cada cierta distancia con el fin de mantener la reducción de la velocidad a lo largo de la vía en que se plantea su uso. El uso de estos elementos

se restringe a los siguientes aspectos (modificado de Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005):

- Aplicables solo en vías locales.
- Usado en vías con no más de dos carriles de circulación o un ancho no mayor a los 12 m, de lo contrario será más fácil ganar velocidad y obviar la correspondiente reducción.
- Recomendables solo en vías con pendiente inferior al 6%.
- Restricción de uso en curvas horizontales y verticales.
- No implementar a menos de 75 m de una intersección semaforizada o a una distancia que pueda interferir con la operación de la intersección.
- No se recomienda el uso en vías con un 5% o más de participación de vehículos de carga pesada o con presencia de transporte público.
- Deben contar con el consentimiento de la comunidad directamente afectada.

Cabe aclarar que lo que aquí se resume es indicativo. La Secretaría Distrital de Movilidad en concepto técnico asociado, ha definido el procedimiento y los requisitos para la implementación de un resalto en Bogotá.

7.2.2 Pompeyanos

Los pompeyanos son resaltos donde la cima del elemento es plana y está destinada al tránsito prioritario de usuarios no motorizados. Las recomendaciones para su implementación son las siguientes:

- Son recomendables en vías de medias velocidades que tienen pasos peatonales transversales y requieren que se dé una disminución de velocidad. No obstante, cuando coinciden con una bocacalle en la que se permiten giros, resultan inconvenientes por varias razones: Al entrar desde el giro, el talud se coge de sesgo y se minimiza el efecto de reducción de velocidad; si el giro coincide con el paso de peatones, el motorizado no espera antes de girar sino sobre el talud del vado por lo cual la cola del vehículo queda invadiendo la calzada y generando exposición al choque.
- Pueden ser incorporados para el manejo peatonal en intersecciones semaforizadas a nivel, o intersecciones tipo glorieta siempre y cuando se tenga en cuenta que generan la necesidad de una señal de Pare para los vehículos y por lo tanto si se ubican en convergencias o divergencias, podrían implicar mayores exigencias en carriles de aceleración y desaceleración.
- Pueden presentarse casos en que sea factible elevar toda la intersección en sectores con alta demanda peatonal (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005).
- Se debe garantizar que los andenes o senderos peatonales adyacentes tengan continuidad con la zona plana del pompeyano y no con las rampas.
- Este elemento está directamente asociado al comportamiento de los usuarios en la zona, lo cual deriva en el respeto al objeto de la infraestructura como tal y al acato de la reducción

de velocidad. Cuando las condiciones geométricas no inducen su verdadera función, las condiciones de seguridad vial de los peatones y ciclistas pueden verse afectadas.

- La altura de estas infraestructuras dependerá de el vehículo de diseño, los volúmenes vehiculares, los volúmenes peatonales y la jerarquía funcional de las vías. Existen pompeyanos y seminpompeyanos, de altura menor, estos últimos resultan útiles cuando los volúmenes peatonales son medios y los vehiculares altos.

7.2.3 Bandas transversales

Las bandas transversales consisten en franjas dispuestas de forma transversal a la vía, y su principio se basa en transmitir al conductor la necesidad de disminuir la velocidad (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005).

Estas franjas pueden ser demarcadas con pintura (líneas logarítmicas) o con elementos que producen vibración al paso de los vehículos (agregados pétreos, cerámicas) siendo denominadas bandas sonoras. Respecto de estas últimas, el Manual de Señalización Vial de Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia (Ministerio de Transporte, 2004) recomienda restringir su uso a sectores rurales, por tanto, la implementación de las mismas deberá estar enmarcado dentro de la normatividad vigente.

7.2.4 Estrechamiento de calzada

Este tipo de medida está orientado a restar espacio a la circulación de los vehículos en pro de generar mayor visibilidad y protección a los usuarios no motorizados para el cruce de las vías. El hecho de reducir el ancho de las calzadas lleva a que los vehículos reduzcan su velocidad para poder maniobrar en una sección más reducida, prestando a la vez mayor atención a la presencia de peatones y ciclousuarios.

El estrechamiento de las calzadas puede ser de varias formas, manteniendo siempre la filosofía de reducir el ancho del cruce peatonal y obligar al vehículo a disminuir la velocidad. Dentro de este tipo de medida están:

- Refugios peatonales: Se trata de la implementación de un separador ubicado dentro de la vía, separando los flujos vehiculares en uno u otro sentido. Estos permiten albergar al usuario no motorizado al tiempo que le dan mayor visibilidad frente a los vehículos.
- Gargantas: Se originan al estrechar la calzada a uno y otro lado de la vía, permitiendo aumentar el espacio destinado al peatón y ciclo usuario, y reduciendo la sección para los vehículos y por ende obligándolos a reducir su velocidad para continuar su trayecto.
- Chicanas: Son estrechamientos alternados de la calzada que obliga a los vehículos a llevar una trayectoria "serpenteada", a reducir su velocidad y prestar mayor atención a la vía para realizar las maniobras de giro. Tal situación permite que los peatones cuenten con mayor oportunidad de cruzar la vía.

7.3 ELEMENTOS DE CONTENCIÓN VEHICULAR

D

SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR

- **Son dispositivos que se instalan en las zonas laterales o centrales de una vía, cuya finalidad es retener, redireccionar los vehículos que quedan fuera de control y se salen de la vía, de manera que se reduzcan los daños y lesiones, tanto para los ocupantes como para otros usuarios de la vía, peatones, ciclistas u objetos situados en las cercanías (viviendas, escuelas, ciclovías y objetos en zonas de obras) (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).**
- **Los sistemas de contención vial no evitan los accidentes pero deben reducir las consecuencias de los mismos.**

La colisión con un sistema de contención vehicular constituye un accidente sustituto del que tendría lugar en caso de no existir este mecanismo, y de consecuencias más predecibles y menos graves; esto no significa que los ocupantes del vehículo estén exentos de riesgos. Las barreras y sus terminales constituyen también un obstáculo y solo deben colocarse si se espera que tal dispositivo reduzca la severidad del accidente, al evitar que el vehículo colisione con un objeto rígido, vuelque o ingrese a una zona peligrosa (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

El diseñador debe prever los lugares donde será necesaria la instalación de los elementos de contención vehicular, por esta razón se debe realizar un análisis de cualquier elemento (estructural, paisajístico, de señalización, de mobiliario), que se pueda ubicar dentro de las márgenes de las vías o en los separadores centrales, y que represente un riesgo. Lo anterior se logra a través de un diseño que involucre un análisis tridimensional e integrador de los aspectos geométricos, arquitectónicos, de señalización y en general del entorno de implementación del proyecto. Cabe mencionar que entre más seguro sea el diseño, requerirá en menor medida del uso de elementos de contención, pues ésta es una de las últimas alternativas a emplear, innecesaria en proyectos con planimetrías, altimetrías, peraltes, secciones transversales y elementos complementarios que cumplan con los criterios de diseño fundamentales.

En el caso de vías existentes, las barreras se utilizan como medidas de seguridad para la mitigación de riesgos asociados a la salida del automóvil de la calzada vehicular. Este tipo de accidentes pueden ocurrir en la zona lateral derecha o izquierda de la calzada; si el vehículo sale de su carril de circulación por la zona lateral izquierda, puede irrumpir en el separador central de la carretera (vías de calzada separada) o puede cruzar los carriles de circulación en sentido contrario y posteriormente salir de la vía (vías de calzada única); en el peor de los casos, esta situación puede producir una colisión frontal.

Actualmente los accidentes por salida de calzada u choques contra objetos laterales representan aproximadamente el 30% del total de accidentes en las vías de la ciudad de Bogotá. Razón

por la cual los elementos de contención son vitales en la protección de los actores viales, en especial de los más vulnerables: peatones y ciclistas.

D

OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN: (HOF CONSULTORES S.A.S & CORPORACIÓN FONDO DE PREVENCIÓN VIAL, 2012)

- **Evitar que los vehículos salgan de la calzada vial causando daños a terceros o sufriendo impactos contundentes contra objetos que se encuentran al lado de la vía.**
- **Minimizar la probabilidad de que un vehículo colisione con un objeto fijo peligroso o se vuelque si desciende por un talud empinado.**
- **Reducir la severidad del accidente frente a la opción de no tener barreras en el sector.**

Es ideal que el diseño de vías urbanas, especialmente de las vías en las que se pueden desarrollar altas velocidades como las Arterias Principales, Complementarias y/o futuros proyectos de Autopistas Urbanas, esté orientado a mantener el vehículo dentro de la calzada y proporcione zonas laterales seguras y libres de obstáculos que le permitan al conductor, frente a la pérdida de control del automotor, reducir la velocidad y corregir la dirección que llevaba. De esta forma se puede evitar el accidente o en su defecto minimizar los daños causados, no solamente al conductor del vehículo accidentado, sino a terceros vulnerables o a algún tipo de infraestructura que se quiera proteger.

7.3.1 Clasificación de los sistemas de contención vehicular

Los sistemas de contención vehicular se pueden clasificar según la función para la cual fueron instalados o el nivel de contención que puedan soportar. HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012

La capacidad que posee un sistema para contener un vehículo de forma controlada permite clasificar los sistemas de contención de acuerdo con la máxima energía cinética que un sistema es capaz de contener, medida a través de ensayos estandarizados de choque a escala real. De acuerdo a lo anterior, los sistemas de contención se pueden clasificar en:

D

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR SEGUN SU FUNCIÓN

- **Barreras de contención vehicular lateral.**
- **Barreras de contención vehicular central.**
- **Barreras de contención con sistema de protección para motociclistas.**
- **Pretil de puente.**
- **Terminal de barrera.**
- **Transición.**
- **Amortiguador de impacto.**
- **Barrera para ciclistas y peatones.**
- **Rampas de escape.**

Otro aspecto que permite clasificar estos elementos es su rigidez, la cual se determina mediante la capacidad de deflexión ante el impacto de un vehículo. De acuerdo con la rigidez, los sistemas de contención vehicular se clasifican en:

Tabla 22. Clasificación de los sistemas de contención de acuerdo con la rigidez de los mismos

CLASIFICACIÓN	DEFLEXIÓN	EJEMPLOS
Flexibles	2,0 – 3,5	Barreras de cables
Semi-rígidos	0,6 – 2,0	Barreras doble onda
Rígidos	0,0 – 0,6	Barreras de concreto ancladas

Fuente: Elaboración propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

7.3.2 Criterios para la implementación de barreras de contención vehicular

Antes de la implementación de cualquier tipo de barrera se debe tener presente que la instalación de cualquier sistema de contención vehicular debe considerarse como la última alternativa. Siempre se debe analizar la viabilidad técnica y económica de otras opciones que prevalezcan la eliminación, modificación o mitigación del peligro potencial de accidente.

Ahora, si definitivamente se debe instalar una barrera de contención vehicular, se deben tener en cuenta las condiciones presentes en las zonas laterales y las múltiples opciones de sistema de contención existentes. De esta manera se garantiza la selección de una barrera de contención vehicular que satisfaga los requerimientos de los hallazgos y que responda a los criterios especificados en la Tabla 23.

Los siguientes son los factores que se deben considerar en proyectos de Autopistas Urbanas, Vías Arteriales Principales, Complementarias y en general en vías localizadas en laderas urbanas.

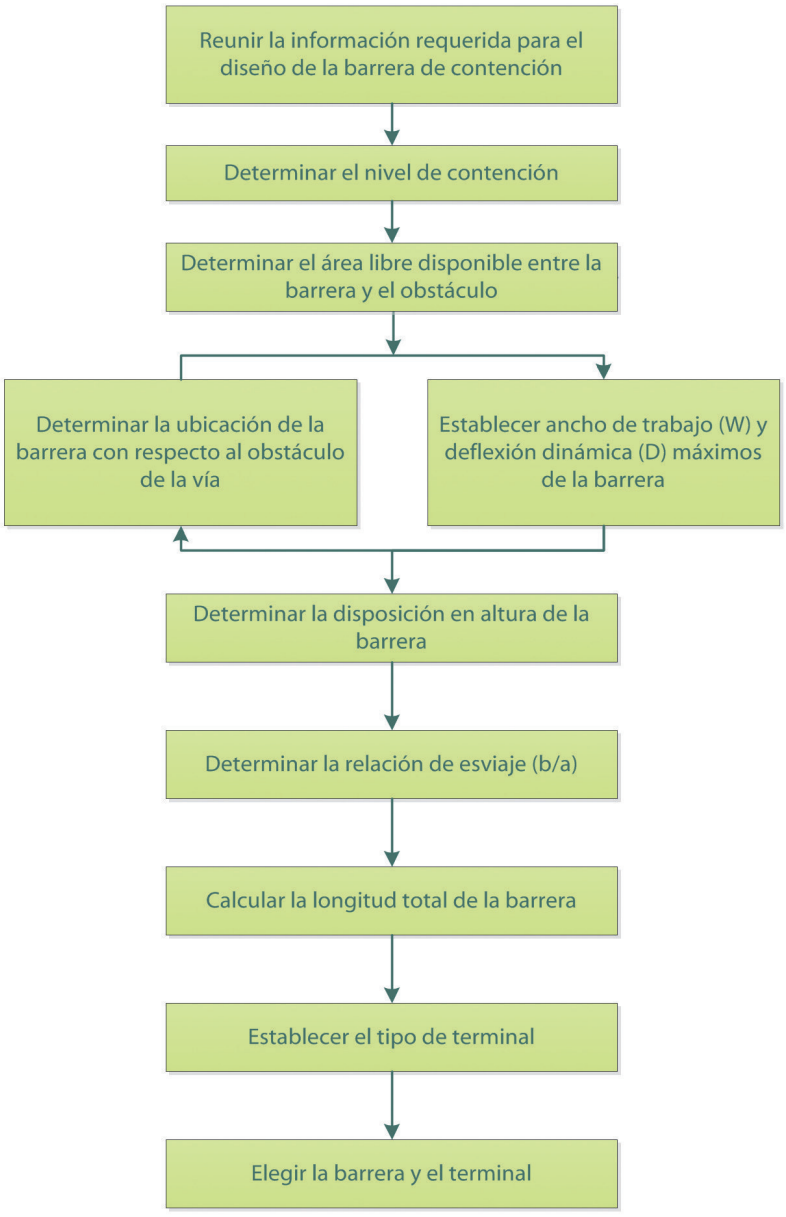
Tabla 23. Criterios para la selección del tipo de contención

Nivel de contención	Cada tipo de barrera posee una capacidad estructural para contener y redireccionar un vehículo, característica que determina el nivel de contención.
Deflexión dinámica (D) a y ancho de trabajo (W)	La deflexión dinámica y el ancho de trabajo permiten fijar las condiciones de instalación para cada tipo de barrera y define las distancias delante de los obstáculos para permitir que la barrera se deforme satisfactoriamente.
Condiciones del sitio	La pendiente de aproximación a la barrera de contención no debe ser mayor a 1V:10H para asegurar un adecuado funcionamiento del dispositivo durante el impacto.
Compatibilidad con otros sistemas de contención vehicular	Es recomendable utilizar una reducida variedad de sistemas de contención ya que facilita la construcción y mantenimiento.
Costos de instalación y mantenimiento	Los costos de instalación y mantenimiento son factores de peso de un determinado sistema de contención.
Estética y condiciones ambientales	Este factor en la mayoría de los casos no rige la selección del sistema de contención pero es importante tenerlo en cuenta en lugares como áreas turísticas o reservas naturales.
Seguridad de otros usuarios	El diseño de un sistema de contención debe prever que no afecte la seguridad de otros usuarios o se convierta en obstáculo.
Historial de desempeño del sistema	Es importante llevar un registro histórico de la instalación y reparación de los sistemas de contención ubicados en campo, de cara a una adecuada gestión de la infraestructura vial, que garantice una apropiada utilización de los recursos.

Fuente: Elaboración propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

A continuación se muestra en un diagrama de flujo el procedimiento general para el diseño de una barrera de contención vehicular aplicable a vías existentes o proyectos viales nuevos, (el procedimiento debe provenir de una necesidad, sea por seguridad vial en la etapa de diseño, por hallazgos de una ASV o ISV, o por accidentalidad en la etapa de operación). El "diseño" se entiende como la metodología para determinar las características técnicas de la barrera, nivel de contención, ancho de trabajo (W), deflexión dinámica (D, tipo de terminal y el valor de los parámetros para su disposición, longitud, ubicación transversal y en altura, esviaje, etc. Véase Guía Técnica para el Diseño, Aplicación y Usos de Sistemas de Contención Vehicular (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Figura 41. Procedimiento general para el diseño de una barrera de contención



Fuente: Tomado de (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

7.3.3 Principales tipos de barreras aplicables a nivel urbano

- **Barreras de concreto:** en ámbitos urbanos el uso de barreras de concreto se privilegian debido a la rigidez de las mismas, pues cuando éstas son chocadas por un vehículo, no experimentan desplazamiento lateral, por ello se recomiendan para lugares donde no existe espacio suficiente para la instalación de otro tipo de contenciones, o en terminaciones de puentes vehiculares urbanos.

  El tipo de barrera de concreto más usado es el New Jersey el cual cuenta con una separación conocida como guarda ruedas que permite que las ruedas del vehículo toquen primero la estructura del new Jersey de modo que si la salida ocurre a velocidades bajas, el vehículo pueda ser redireccionado sin que se causen daños físicos o graves a los vehículos.

- **Barreras metálicas:** en las calzadas rápidas e intercambiadores de calzada de las vías Arteriales principales, Vías Arteriales complementarias al igual que futuros proyectos de Autopistas urbanas, son muy usadas las barreras de contención tipos metálicas en lugares donde se quiera proteger al vehículo de un impacto directo contra un obstáculo; sin embargo, si éstas no están acompañadas de terminaciones en las puntas que mitiguen el impacto, se convierten en objetos causantes de accidentes graves.

  A su vez, es importante el mantenimiento de estas estructuras, debido a que al ser metálicas se presentan fenómenos de corrosión en su estructura, minimizando la resistencia de la misma, razón por la cual puede ocasionar accidentes graves al no cumplir con la función para la cual fue diseñada.

  Es importante reemplazarlas en caso de que hayan sido chocadas, debido a que ya no cumplen la función original para la cual fueron diseñadas sino que se convierten en objetos contundentes para los vehículos.

- **Muros de contención:** son comunes a nivel urbano en zonas de intersección, para la configuración de puentes, box coulvert y rampas; estos pueden ser de tres tipos a saber: con caras verticales, de pendiente simple o con perfil F.

  Estos muros pueden funcionar efectivamente como barreras de tránsito, siempre que el paramento mantenga un perfil suave, no tenga puntos de enganchamiento, no sufra deformaciones perjudiciales o se vuelva inestable en caso de colisión con un vehículo que ha perdido el control.

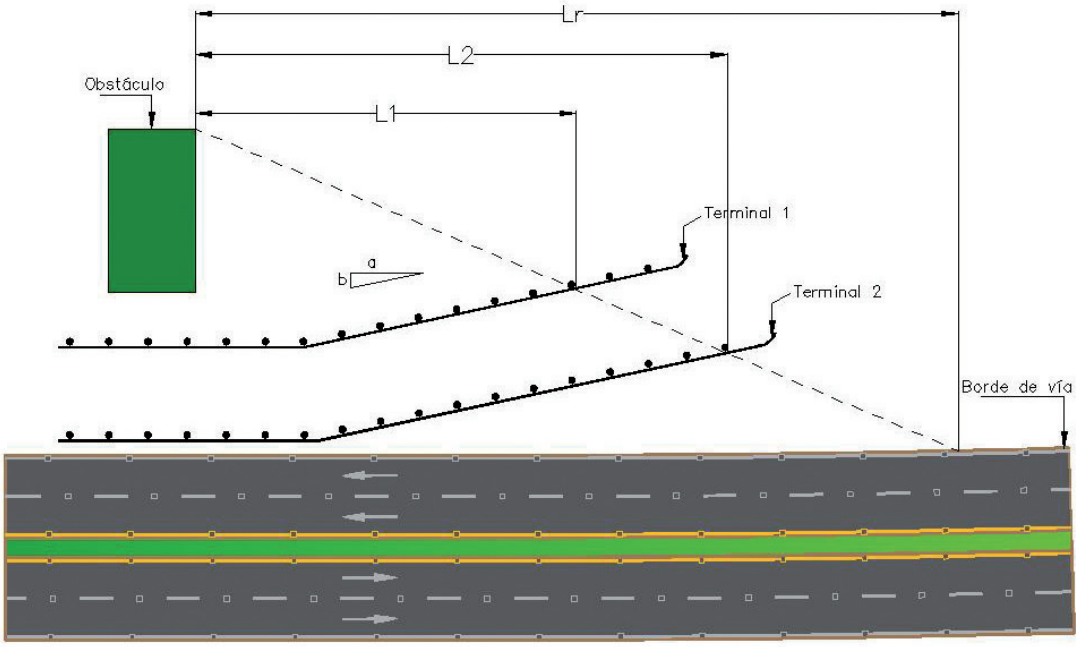
  Es recomendable a nivel urbano que el gálibo lateral o zona de "cautela" sea medido desde el borde externo de la berma e incluya además una zona de "guardarruedas" con una ancho mínimo de 0.6 m. La distancia desde el borde del carril no debe ser mayor de 4 m, para reducir la probabilidad que un vehículo errante choque contra la pared en un ángulo mayor a 30 grados.

7.3.4 Criterios generales para la implementación de barreras

- **Ubicación lateral:** la ubicación lateral de cualquier tipo de contención vehicular debe ser como mínimo a la distancia de "cautela" (*shy line offset*) o a la mayor distancia posible del borde de vía, de modo que el conductor no perciba la barrera como un obstáculo. Esta distancia se encuentran relacionada con la velocidad específica de la vía y puede ser consultada en la correspondiente guía técnica (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012). En la siguiente figura se muestra la disposición de las barreras para proyectos de Autopistas Urbanas, vías Arterias Principales y Complementarias que lo requieran como única alternativa, tras el respectivo análisis del riesgo.

Se hace énfasis en que las barreras de contención vehicular se coloquen a la mayor distancia posible desde el borde de la vía, debido a que un alto porcentaje de los conductores pueden detener el vehículo o recuperar el control del mismo en un área libre de obstáculos y plana que se extienda frente a la barrera de contención vehicular, de ésta manera se maximizan las probabilidades de evitar una colisión con el sistema. Por otra parte, se reduce la longitud de la barrera si ésta se coloca próxima del obstáculo. Sin embargo, si la separación entre la vía y el sistema de contención es muy amplia, aumenta la posibilidad de que los ángulos de impacto sean mayores, consecuentemente se incrementa la severidad del impacto debido a que el desempeño de la barrera no será el más eficaz y, además, el vehículo podría traspasar o arrancar el sistema dando lugar a un accidente de consecuencias muy graves (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Figura 42. Relación entre la disposición transversal de la barrera y la prolongación de la sección anterior al obstáculo



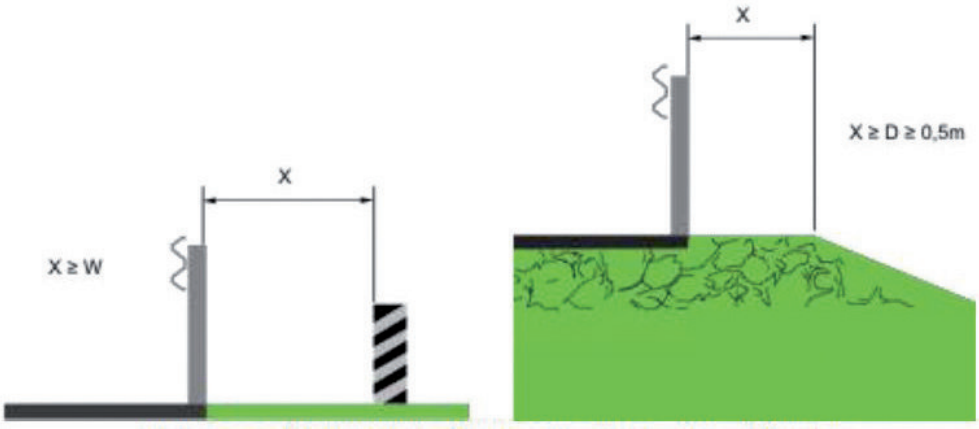
L_R: Distancia teórica que recorre el vehículo cuando se sale de la vía.

Fuente: Elaboración propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

En resumen, la Figura 42 muestra las distancias teóricas que recorrería el vehículo en dirección paralela al elemento de contención, si se saliera de la vía. Estas distancias recorridas son menores en cuanto la barrera esté más retirada del borde de la vía. Las distancias mínimas recomendadas de aislamiento de la barrera, con respecto a la vía, oscilan entre 1.0 m para 40 km/h y 2.5 m para más de 100 Km/h. Además, nunca se debe instalar un dispositivo de seguridad a menos de 0.5 m del borde de vía (American Association of State and Transportation Officials, AASHTO, 2011).

Por su parte, la distancia mínima recomendada de aislamiento de la barrera, con respecto al obstáculo, depende de la naturaleza del peligro, la deflexión dinámica (D) y el ancho de trabajo (W) del sistema. El espacio entre la barrera de contención vehicular y el obstáculo debe permitir que el sistema opere adecuadamente durante el impacto, de tal manera que cumpla con su función de contener y redireccionar el vehículo (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012). Así, esta distancia está directamente vinculada con el tipo de barrera a utilizar, recomendando barreras flexibles cuando el obstáculo está alejado (2 m < D ≤ 3.5 m) y rígidas cuando se encuentra más cerca (0.06 m < D ≤ 2.0 m). En la Figura 43 se presenta la distancia mínima entre la barrera y el obstáculo o desnivel.

Figura 43. Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos y desniveles

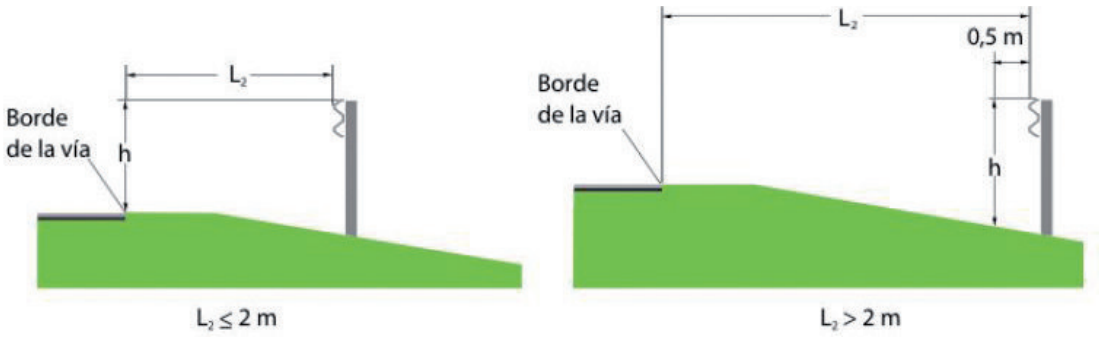


Fuente: Tomado de (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

En la figura izquierda se encuentra la ubicación típica en áreas urbanas planas, mientras que en la figura del costado derecho se ilustra la ubicación típica de una barrera en zonas urbanas montañosas o de laderas.

- **Ubicación en altura:** la altura de la barrera es un aspecto de especial interés, debido a que ésta depende de las especificaciones establecida por el fabricante, el cual debería seguir la normativa nacional Véase (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Figura 44. Requerimientos para la disposición en altura de la barrera

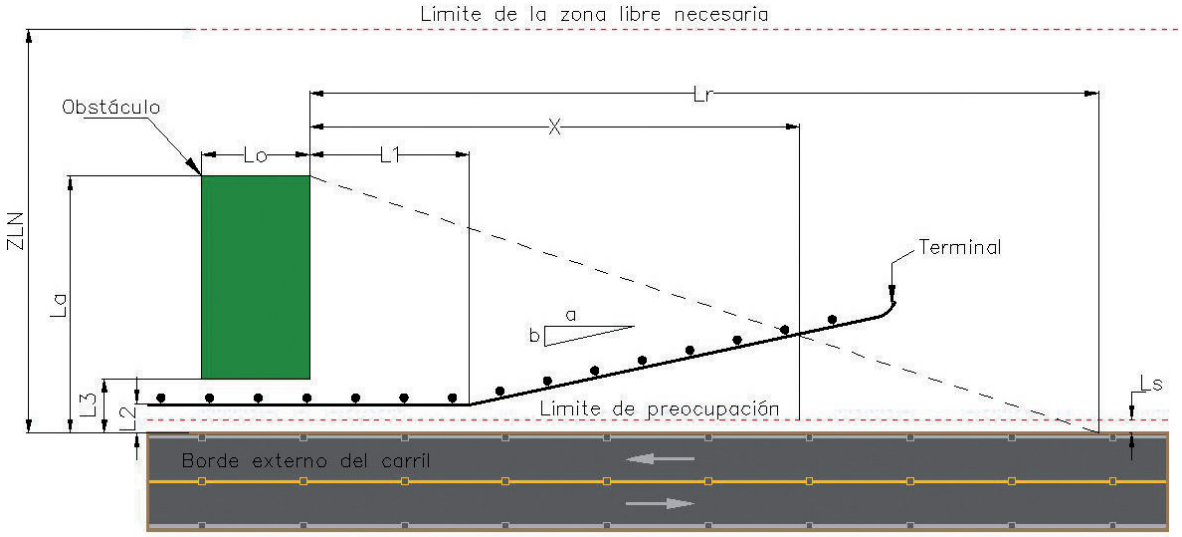


Fuente: Tomado de (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **Relación de esviaje:** se refiere a la desviación en el extremo de la barrera, formando un ángulo respecto al borde de calzada. Se utiliza con el objetivo de alejar la terminal del borde de la vía, pues éste podría representar un obstáculo colisionable. Adicionalmente, el esviaje reduce la longitud necesaria de barrera, ahorrando costos en su construcción.

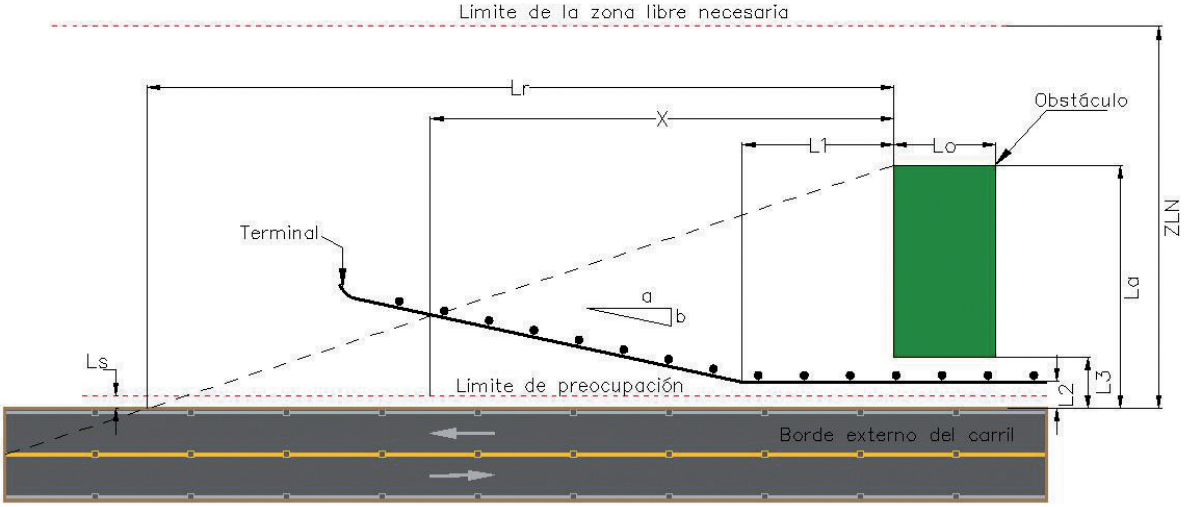
- **Longitud de la barrera en tramos rectos:** la longitud de la barrera debe iniciar antes de la zona de peligro y debe ser prolongada más allá de que ésta termine. Las variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la barrera se pueden consultar en la Guía Técnica para el Diseño, Aplicación y Uso de Sistemas de Contención Vehicular (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012). Dichas variables se muestran en la Figura 45 y en la Figura 46.

Figura 45. Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera antes del obstáculo



Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Figura 46. Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera después del obstáculo



Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Donde:

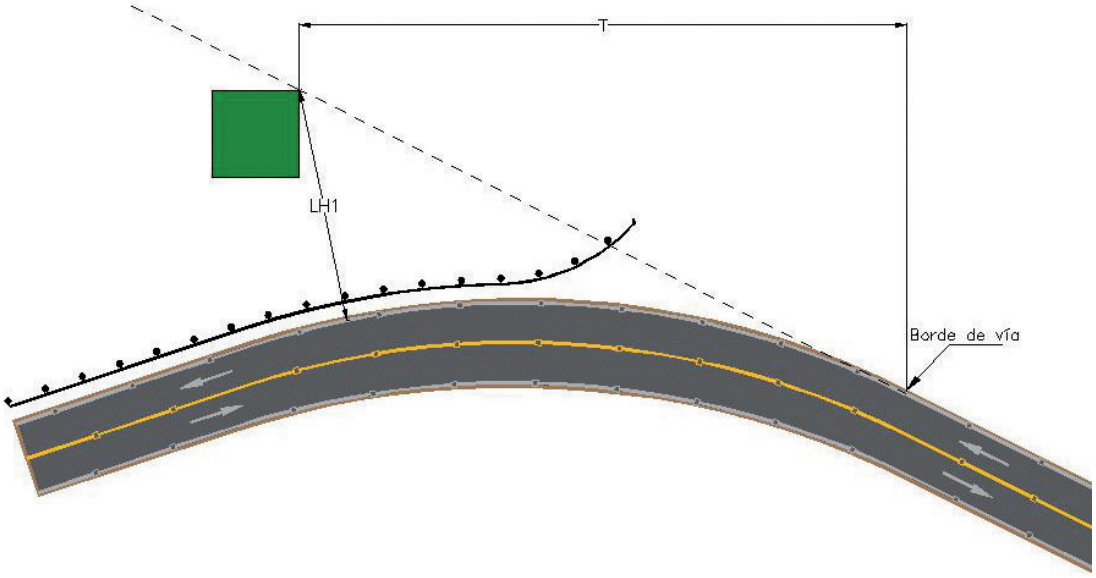
Ls = Distancia de cautela o preocupación.
L_R = Distancia teórica que recorre el vehículo cuando se sale de la vía.
ZNL = Zona libre Necesaria.
L_A = Distancia desde el borde de carril hasta el extremo más alejado del obstáculo.
Lo = Longitud del obstáculo, medido paralelo a la vía.
L_1 = Longitud de la sección de barrera paralela a la vía antes o después del obstáculo. Es 0 m si el obstáculo no sobresale del terreno (taludes no traspasables, cuerpos de agua), 8 m si el obstáculo sobresale del terreno y 5 m para pretiles de puente.
L_2 = Aislamiento del borde de vía a la barrera.
L_3 = Aislamiento del borde de vía al obstáculo.
X = Longitud de la barrera antes o después del obstáculo, hasta antes de los terminales. Se calcula con las fórmulas de la guía en referencia.

a:b = relación de esviaje, determinada en función de la velocidad del tramo de la vía.

Estas y otras variables pueden ser consultadas en la Guía Técnica para el Diseño, Aplicación y Uso de Sistemas de Contención Vehicular (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **Longitud de barreras en curva:** la longitud de la barrera en curva se establece por una metodología gráfica, en la cual se asume que el vehículo sale tangente a la curva. En la Figura 47 se observa el caso donde la zona libre disponible es plana y traspasable (pendientes iguales a 1V:3H o más planas). Véase HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012.

Figura 47. Barrera de contención ubicada en un tramo curvo

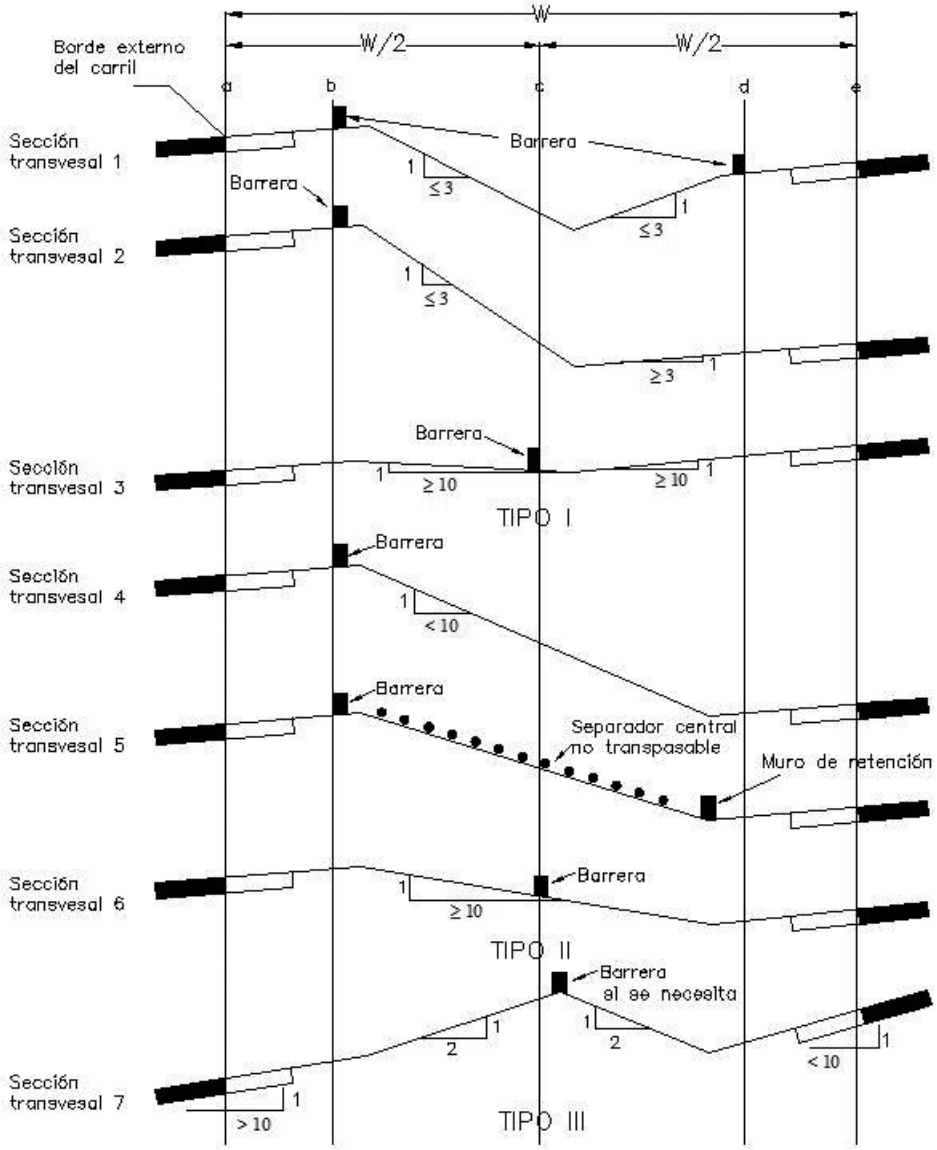


Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **Barreras en separadores centrales:** en la Figura 48 se ilustra, cuáles son las condiciones en las que se requiere la instalación de un sistema de contención vehicular en el separador (para el caso de vías Arteriales Principales y Complementarias), siempre que no se registre paso de peatones y ciclousuarios transversalmente y al mismo nivel de la circulación vehicular.

  Los criterios para la implementación de barreras de contención en separadores centrales, se pueden consultar en la guía antes mencionada (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Figura 48. Ubicación correcta de una barrera de contención en el separador central



Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **Terminales de barrera y transiciones:** es importante mencionar que las barreras deben ir acompañadas por transiciones y terminales de modo que se minimicen los daños generados por colisiones cercanas al inicio o final del elemento de contención, o en zonas de transición entre dos tipos diferentes de barrera, sitios en los cuales suelen ocurrir respectivamente enganchamientos o deficiencias en el funcionamiento del sistema.

  Los elementos de contención no se pueden constituir en riesgos por sí mismos, es por esta razón que las terminales de las barreras deben permitir al vehículo que se sale de la vía la absorción de la energía cinética, sin que se generen daños graves a los ocupantes del vehículo o automotor. En la elección de una terminal de barrera se deben considerar diferentes factores, los cuales deben ser analizados pensando siempre en la seguridad de los actores

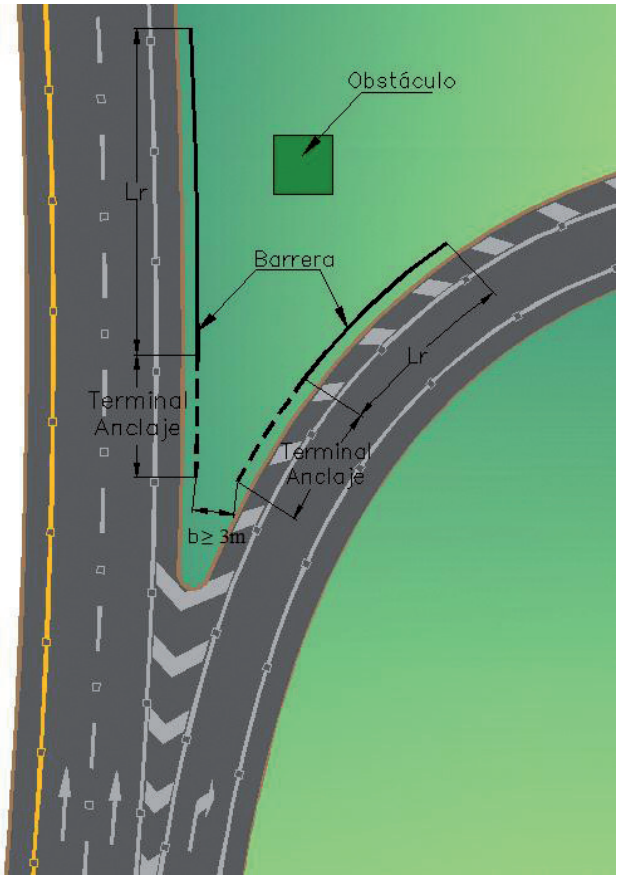
involucrados en un accidente, a pesar de los costos económicos que se acarreen. En la Guía técnica ya mencionada, se ofrecen recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta en el momento de la selección.

Las terminales de barrera recomendadas, son las del tipo abatidas y enterradas, las empotradas en talud de corte (cuando exista) y las que incluyen atenuador de impacto. Las terminales bruscas (cola de pez o muro de concreto) deben ser definitivamente excluidas de las alternativas a considerar, dado su alto potencial de enganchamiento del vehículo en el impacto.

En el caso de las bifurcaciones urbanas, suele disponerse dos alineaciones de barrera paralelas respectivamente a cada vía y convergentes hacia un punto. Cuando la distancia entre las terminales cercanas a la nariz de la bifurcación es menor a 3 m, se recomienda la disposición de un atenuador de impacto redirectivo (Véase Figura 49).

En cuanto a las transiciones que conectan dos tramos de barrera de distintos comportamientos, la Guía Técnica aborda recomendaciones desde el punto de vista del nivel de contención y la diferencia de flexibilidad entre las barreras que se conectan longitudinalmente.

Figura 49. Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera



Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

7.3.5 Amortiguadores o atenuadores de impacto

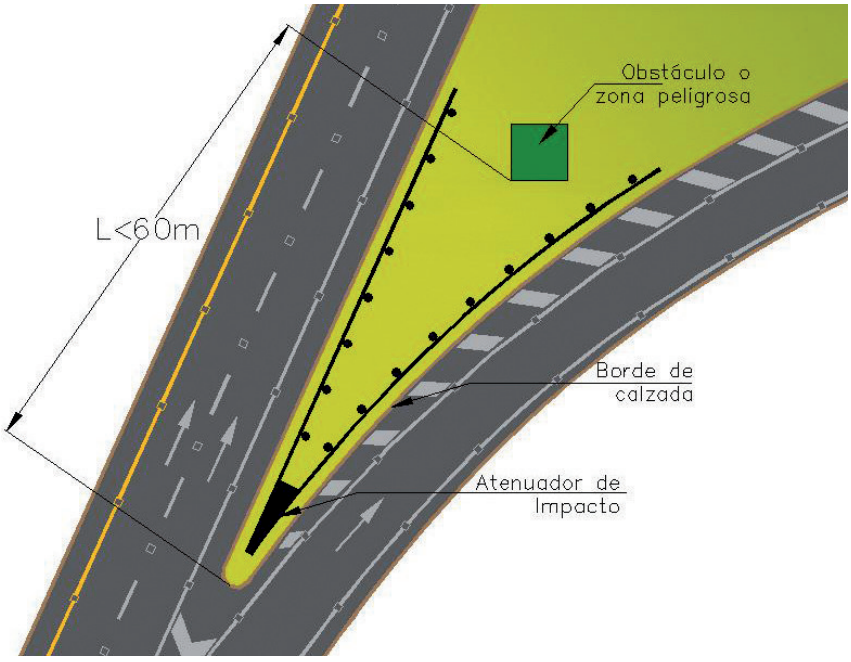
Se usan en zonas urbanas para mitigar el efecto de choques frontales generado por obstáculos peligrosos, para los que las barreras de seguridad no resulten eficaces, debido al ángulo de incidencia; tienen por objeto reducir las consecuencias de un choque frontal, absorbiendo la energía cinética del vehículo, mediante la deformación del sistema.
Los amortiguadores de impacto se pueden clasificar en:

- Redirectivos
- No redirectivos

La instalación de atenuadores de impacto está justificada en los siguientes casos:

- **Narices en rampas de salida:** cuando en una zona peligrosa asociada con un ramal de salida o bifurcación no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de, al menos, 60 metros a partir del punto de apertura de los carriles divergentes, deberá disponerse de un atenuador redirectivo. En narices de una rampa de salida se evitará tanto la disposición de vigas, árboles, postes u otro tipo de elemento que llegué a convertirse en obstáculo colisionable.

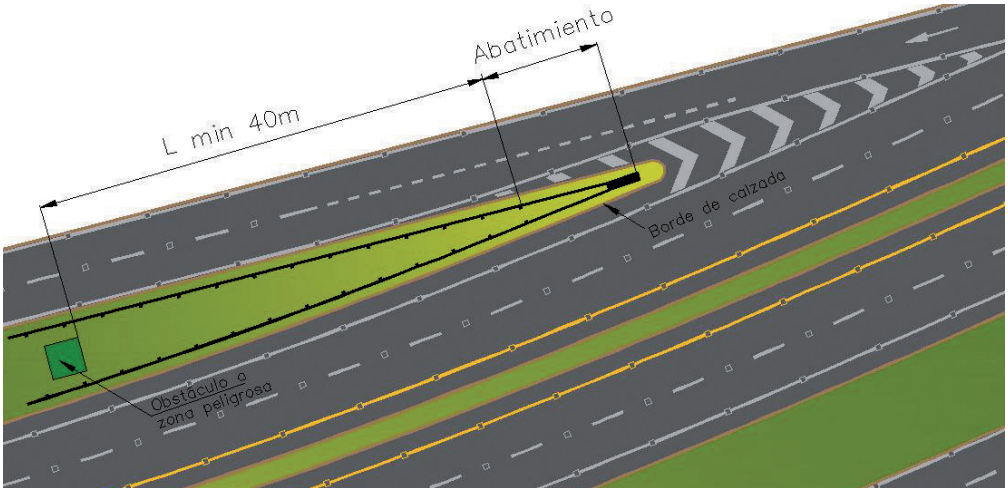
Figura 50. Criterios para la implementación de atenuadores de impacto en narices en rampas de salida



Fuente: Elaboración propia.

- **Comienzo de separadores centrales:** cuando el principio de la barrera doble de contención del separador diste menos de 40 metros del primer obstáculo situado en ésta, se debe disponer de un atenuador de impacto redirectivo.

Figura 51. Criterios para la implementación de atenuadores de impacto en rampas de salida



Fuente: Elaboración propia.

La Guía Técnica en referencia (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012) establece una metodología que señala la localización y el nivel de contención de los atenuadores, en términos de la velocidad de operación y el tipo de vía donde se ubicará.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State and Transportation Officials, AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington E.U: AASHTO.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2004). Plan Maestro de Ciclorrutas, Manual de Diseño. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2003). *Decreto 279*. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2004). *Plan de Ordenamiento Territorial. Decreto 190.*

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). Decreto 319. *Plan Maestro de Movilidad*. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (Vol. Tomo II). Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (Vol. Tomo II). Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2004). Plan Maestro de Ciclorrutas, Manual de Diseño. Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Secretaría de Planeación (2012). *Modificación excepcional de normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial 2013. Documento Técnico de Soporte.* Bogotá D.C.: Borrador No aprobado.

Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos. (2008). *Plan Director Movilidad Ciclista Madrid. Criterios para el trazado y diseño de las vías ciclistas.* Madrid.

Ayuntamiento de Madrid. (2000). *Instrucción de Vía Pública* . Madrid, España: Ayuntamiento de Madrid.

Cal & Mayor, A., & Cárdenas G, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones* (Octava edición ed.). México: Alfaomega.

Carciente, J. (1980). *Carreteras, Estudio y Proyecto.* Caracas, Venezuela: Ediciones Vega.

Department of Transport. (2004). *Traffic Management Guidelines.* Dublin, Irlanda: Stationery Office.

Federal Highway Administration. (2008). *How to Develop a Pedestrian Safety Action Plan.*

Federal Highway Administration. (2011). Guide on the Consistent Application of Traffic Analysis Tools and Methods.

HOF Consultores S.A.S, & Corporación Fondo de Prevención Vial. (2012). *Guía Técnica para el Diseño, Aplicación y usos de Sistemas de Contención Vehicular.* Bogotá.

IDU, Instituto de Desarrollo Urbano. (2005). *Guía Práctica de la Movilidad Peatonal Urbana.* Bogotá, Colombia: IDU.

IDU, Instituto de Desarrollo Urbano. (2012). *Recomendaciones base para desarrollar una infraestructura vial para bicicletas.* Bogotá: Informe de Avance.

INCONTEC, I. C. (2009). *NTC 4143. Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios y espacios urbanos. Rampas fijas adecuadas y básicas.* Bogotá D.C.: I.C.S.: 11.180.00:91.060.30. Tercera Actualización.

INVIAS Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.* Bogotá, Colombia.

ITDP, I. (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT., (pág. Parte III: Diseño Físico). New York.

Ministerio de Transporte. (2002). *Ley 769 de 2002.* Colombia.

Ministerio de Transporte. (2004). Resolución 1050 de 2004. *Manual de Señalización Vial de Calles, Carreteras y Ciclorutas de Colombia*.

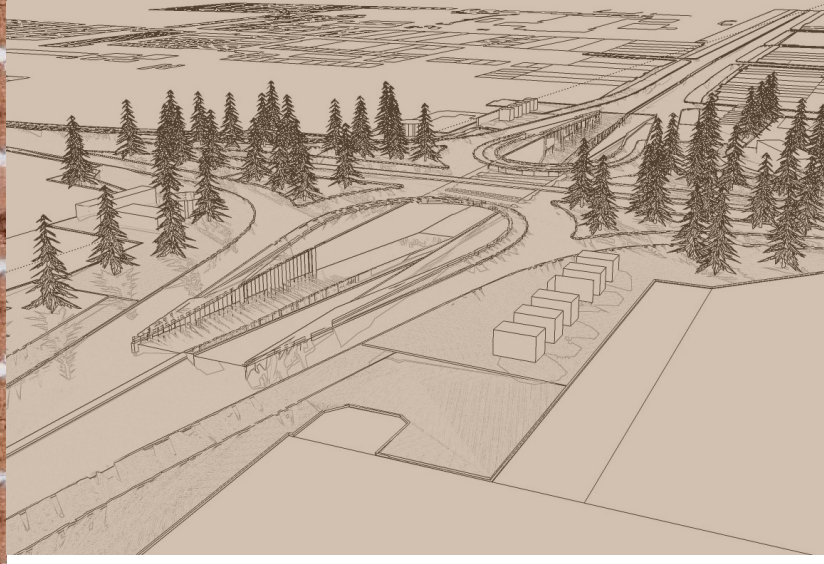
MINVU, M. (2009). *Manual de Vialidad Urbana, Recomendaciones Para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana.* Santiago, Chile: MINVU.

Molinero Molinero, A. R., & Sánchez Arellano, L. I. (2005). *Transporte Público: Planeación, diseño, operación y administración*. Toluca, México.

MOPT, M. (1992). *Carreteras Urbanas, Recomendaciones para su Planeamiento y Proyecto.* Madrid, España: MOPT.

Secretaría de Tránsito y Transporte. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* (Vol. Tomo II). Bogotá.

Transportation Research Board. (1996). Guidelines for the Location and Design of Bus Stops. Washington D.C.



CAPÍTULO 4

DISEÑO DE INTERSECCIONES

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE INTERSECCIONES **225**

1 CONCEPTUALIZACIÓN **232**

1.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE INTERSECCIÓN 234

1.2 TIPOS DE INTERSECCIONES COMUNES 236

1.2.1 De prioridad y semaforizadas 237

1.2.2 Intersecciones anulares 239

1.2.3 Intersecciones con orejas 240

1.2.4 Otros tipos 241

2 LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES **242**

2.1 CRITERIOS DE TRÁNSITO EN INTERSECCIONES 244

3 LÍNEAS DE FLUJO Y ZONAS DE CONFLICTO **247**

3.1 ANÁLISIS DE LÍNEAS DE FLUJO 247

3.2 MOVIMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS EN LAS INTERSECCIONES 249

3.2.1 Convergencias 249

3.2.2 Manejo de conflictos con vehículos, peatones y ciclousuarios en convergencias 263

3.2.3 Divergencias 265

3.2.4 Manejo de conflictos con vehículos, peatones y ciclousuarios en divergencias 281

3.2.5 Entrecruzamientos 282

4 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS PARA EL DISEÑO DE BIFURCACIONES **291**

4.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS 291

4.1.1 Carriles de cambio de velocidad 291

4.2 CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO DE PERALTES 296

4.2.1 Líneas de contacto 297

4.2.2 Cotas de pavimento 300

4.3 CONSIDERACIONES DE VISIBILIDAD 301

5 INTERSECCIONES DE PRIORIDAD Y SEMAFORIZADAS **302**

5.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS 302

5.1.1 Ejes de diseño 302

5.1.2 Carriles 302

5.1.3 Isletas 306

5.1.4 Separador central 309

5.1.5 Retornos 310

5.2 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD 311

5.2.1 Triángulo de visibilidad 313

5.3 CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO 319

5.3.1 Consideraciones acerca de la semaforización 320

5.3.2 Disposición de giros izquierdos 321

5.3.3 Disposición de giros derechos canalizados 323

5.4 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS 324
5.4.1 Cruces peatonales en esquinas de intersecciones reguladas por pare o semafóricas 327
5.4.2 Tratamiento del tráfico de ciclistas 328
5.5 CONSIDERACIONES DE PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO 330
5.6 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN 331

6 INTERSECCIONES ANULARES 332
6.1 UTILIDAD Y RIESGOS EN SU SOBREUTILIZACIÓN 333
6.2 CONDICIONES PARA SU IMPLANTACIÓN 335
6.3 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS 336
6.3.1 El islote central 336
6.3.2 La calzada anular 336
6.3.3 Ramales de entrada y salida a la glorieta 337
6.3.4 Giros derechos canalizados 341
6.4 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD 342
6.4.1 Peraltes 342
6.4.2 Perfil longitudinal 343
6.4.3 Triángulos de visibilidad 343
6.5 CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO 345
6.6 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS 346
6.6.1 Manejo de espacio público 358
6.7 CONSIDERACIONES PARA EL PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO 362
6.8 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN 362

7 INTERSECCIONES CON OREJAS 364
7.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS 365
7.1.1 Orejas 366
7.1.2 Calzadas complementarias 369
7.1.3 Giros derechos canalizados 372
7.2 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD 373
7.3 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS 374
7.4 CONSIDERACIONES PARA EL PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO 378
7.5 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN 378

8 OTRAS INTERSECCIONES 378
8.1 TURBOGLORIETAS 378
8.1.1 Características geométricas 379
8.2 INTERCAMBIADORES DIVERGENTES EN DIAMANTE 383

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 387

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evaluación para llevar pasos peatonales a desnivel	235
Figura 2.	Intersección semaforizada, canalizada de cuatro ramales	238
Figura 3.	Intersección con pare típica	238
Figura 4.	Ejemplos de intersecciones anulares	239
Figura 5.	Ejemplos de trébol combinado	240
Figura 6.	Ejemplos de trompetas	241
Figura 7.	Ejemplo de Intersección con giros semidireccionales	241
Figura 8.	Ejemplo de cruce divergente en diamante	242
Figura 9.	Metodología para el análisis de entrecruzamiento HCM 2010	246
Figura 10.	Líneas de flujos vehiculares y zonas de conflicto	248
Figura 11.	Convergencia aislada	250
Figura 12.	Convergencia tipo 1-4-6 con visibilidad restringida	252
Figura 13.	Convergencia tipo 1-3-6 con visibilidad restringida	254
Figura 14.	Convergencia tipo 2-6-8	254
Figura 15.	Convergencia tipo 2-3-6-8	256
Figura 16.	Convergencia tipo 2-4-5-8	257
Figura 17.	Convergencias sucesivas tipo 1-4	257
Figura 18.	Canalizaciones en convergencias que incluyen el tipo 4-6	258
Figura 19.	Convergencia tipo 5	259
Figura 20.	Convergencia tipo 2-3-6 Tratamientos recomendados y situaciones de peligro	260
Figura 21.	Zona de convergencia múltiple tipo 6	261
Figura 22.	Convergencia con rampa de dos carriles con carriles de aceleración consecutivos	261
Figura 23.	Convergencia tipo 2-3-6-8 en glorieta	262
Figura 24.	Convergencia tipo 9	263
Figura 25.	Convergencia tipo 2-6-8	264
Figura 26.	Convergencia tipo 2-3-6-8	265
Figura 27.	Divergencias aisladas	267
Figura 28.	Divergencia tipo 1-4-6 elevada, con curva vertical convexa	269
Figura 29.	Divergencia tipo 2-6-8 a nivel	270
Figura 30.	Divergencia tipo 2-3-6-8 a nivel	272
Figura 31.	Divergencia tipo 2-4-6-8 a nivel	273
Figura 32.	Divergencia tipo 5	274
Figura 33.	Divergencia tipo 6 en curva vertical convexa	275
Figura 34.	Divergencia tipo 1-6 en curva vertical convexa	275
Figura 35.	Divergencia tipo 6 en curva vertical convexa	276
Figura 36.	Divergencia con rampa de dos carriles con carriles de desaceleración consecutivos (Escalonada) sin paso de peatones o ciclistas	277
Figura 37.	Divergencia tipo 1-7-9	277
Figura 38.	Divergencia tipo 2-3-6-8 en glorieta	279
Figura 39.	Divergencia tipo 1-6-8 en semáforo	279
Figura 40.	Canalizaciones en divergencias tipo 1-6-9	280
Figura 41.	Canalizaciones en divergencias tipo 2-6 con paso peatonales a nivel	281
Figura 42.	Canalizaciones en divergencias tipo 2-4-5-8 con paso de peatones y ciclousuarios a nivel	282

Figura 43.	Longitud de entrecruzamiento	284
Figura 44.	Entrecruzamiento con carril auxiliar N_{WL}=2 – Intersección tipo trébol	285
Figura 45.	Entrecruzamiento importante con Eje, N_{WL}=2	286
Figura 46.	Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de salida, N_{WL}=2	286
Figura 47.	Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de entrada y desequilibrio de carriles en la de salida N_{WL}=2	287
Figura 48.	Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de entrada y equilibrio de carriles en la de salida; N_{WL}=1	287
Figura 49.	Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de salida con N_{WL}=3 y N_{WL}=2	288
Figura 50.	Entrecruzamiento importante sin equilibrio de carriles ni confluencia; N_{WL}=3	289
Figura 51.	Entrecruzamiento bilateral; N_{WL}=5	290
Figura 52.	Entrecruzamiento bilateral; N_{WL}=3 con entrecruzamiento importante con eje N_{WL}=2	290
Figura 53.	Línea de contacto en una divergencia canalizada con cuña	298
Figura 54.	Ejemplos de desarrollo de peraltes en bifurcaciones	300
Figura 55.	Cotas de pavimento en bifurcación	301
Figura 56.	Tipos de carriles en intersecciones	303
Figura 57.	Ramal con dos carriles de giro izquierdo A	305
Figura 58.	Ramal con dos carriles de giro izquierdo B	305
Figura 59.	Algunos parámetros de diseño en isletas	307
Figura 60.	Isleta en intersección de dos vías arteriales	308
Figura 61.	Disposición de isletas en una intersección semaforizadas con giros derechos canalizados	308
Figura 62.	Trayectorias de vehículos en los bordes de los separadores	310
Figura 63.	Trayectorias vehiculares en retornos. Situación actual y situación con proyecto	311
Figura 64.	Triángulo de visibilidad caso 1	314
Figura 65.	Triángulo de visibilidad caso 2	316
Figura 66.	Triángulo de visibilidad caso 3	316
Figura 67.	Triángulo de visibilidad para intersecciones sesgadas	318
Figura 68.	Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal, para intersecciones semaforizadas	325
Figura 69.	Diferentes tipos de manejo peatonal y de ciclousuarios para intersecciones semaforizadas	326
Figura 70.	Paso peatonal sobre giros derechos	327
Figura 71.	Manejo de ciclorruta y franja de circulación peatonal, para intersecciones semaforizadas	328
Figura 72.	Secciones típicas para intersección semaforizadas	329
Figura 73.	Paso en intersección a nivel	330
Figura 74.	Paisajismo en intersección a nivel	331
Figura 75.	Dimensiones recomendadas para una glorieta normal	339
Figura 76.	Geometría de entradas y salidas dimensiones recomendadas	340
Figura 77.	Giros derechos canalizados en una glorieta	342
Figura 78.	Triángulo de visibilidad en glorietas Caso 3B	344
Figura 79.	Visibilidad en la entrada a la glorieta Caso 3B	344
Figura 80.	Flujos de interés en análisis de rotondas	345
Figura 81.	Ejemplos típicos de intersecciones tipo glorieta	347
Figura 82.	Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 1 y 2	349

Figura 83.	Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 3 y 4	350
Figura 84.	Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 5 y 6	351
Figura 85.	Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal	353
Figura 86.	Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios A	355
Figura 87.	Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios B	356
Figura 88.	Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios C	357
Figura 89.	Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas A	359
Figura 90.	Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas B	360
Figura 91.	Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas C	361
Figura 92.	Elementos de la intersección tipo trébol	365
Figura 93.	Diseño antiguo de orejas - evitar en el diseño moderno	366
Figura 94	Concatenaciones usadas en una intersección a desnivel tipo trébol	367
Figura 95.	Ejemplos de orejas utilizados en una intersección tipo trébol-Ficha A	368
Figura 96.	Ejemplos de orejas utilizados en una intersección tipo trébol-Ficha B	369
Figura 97.	Calzadas complementarias en Tréboles	371
Figura 98.	Inicio y finalización de las calzadas complementarias	371
Figura 99.	Canalización del giro derecho y el giro izquierdo en la calzada complementaria	372
Figura 100.	Manejo de flujos no motorizados a nivel, en los giros derechos canalizados	373
Figura 101.	Red de paso continúo para circulación peatonal y de ciclousuarios	375
Figura 102.	Circulación peatonal y de ciclousuarios con red de paso continúo	375
Figura 103.	Circulación peatonal y de ciclousuarios con alternativa puente peatonal	376
Figura 104.	Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal a nivel (arriba) y a desnivel (abajo)	377
Figura 105.	Turboglorieta básica en Rotterdam (Holanda)	379
Figura 106.	Diseño de turboglorieta básica	381
Figura 107.	Radios y ejes usados en un diseño de una turboglorieta básica	382
Figura 108.	Turboglorieta en Rotterdam (Holanda)	382
Figura 109.	Propuesta implementación DDI	386

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Rango de variación relación volumen a capacidad	245
Tabla 2.	Longitud total del carril de aceleración (incluye longitud de transición)	293
Tabla 3.	Correcciones por pendientes a los carriles de aceleración	293
Tabla 4.	Longitud carril de desaceleración	295
Tabla 5.	Factor de corrección de la longitud del carril de desaceleración	296
Tabla 6.	Distancias de visibilidad Caso 1, para intersecciones sin ningún control	315
Tabla 7.	Factor de ajuste para las distancias de visibilidad debido a la pendiente	315
Tabla 8.	Distancias de visibilidad Caso 2, intersecciones con señal de PARE	316
Tabla 9.	Distancias de visibilidad Caso 3, intersecciones con señal de ceda el paso	317
Tabla 10.	Distancias de visibilidad para giros a la izquierda desde la vía de mayor importancia	319
Tabla 11.	Requerimientos información y condiciones para semaforización	321
Tabla 12.	Características del islote central según tipo de glorieta	336
Tabla 13.	Pendiente máxima para ramales	374
Tabla 14.	Tipos de turboglorietas	380
Tabla 15.	Comparación de conflictos entre una intersección tipo diamante convencional y un DDI	385

Este capítulo se refiere a los aspectos procedimentales y metodológicos del diseño geométrico de intersecciones a nivel, tipo pare, semáforo o glorieta; intersecciones a desnivel, con rampas, orejas y giros direccionales; e intersecciones especiales, tipo turboglorieta e intercambiador divergente en diamante.

1. CONCEPTUALIZACIÓN

D

INTERSECCIÓN

Dentro de este concepto se incluye todo tipo de conflicto o cruce entre dos o más vías de igual o distinta jerarquía, que funcionen con el simple paso de las vías, a nivel o desnivel, o que incluya enlaces e intercambio a través de rampas y ramales de conexión.

Las intersecciones en vías urbanas tienen una gran importancia. Por un lado, de su diseño depende el buen funcionamiento de la red y la obtención de indicadores de operación aceptables, pues independientemente de la capacidad de las vías, el funcionamiento de la red está condicionado por los niveles de servicio que se den en las intersecciones. Por otro lado, las intersecciones concentran gran parte de los impactos que se generan sobre la estructura urbana, desde la mayor ocupación del suelo, hasta los problemas de efecto barrera o peligrosidad para peatones y ciclistas, y en general problemáticas de seguridad vial (MOPT, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992).

R

AL DISEÑAR INTERSECCIONES ES IMPORTANTE QUE EL DISEÑADOR TENGA EN CUENTA:

- **Realizar análisis en red del área de influencia de la intersección. En ocasiones es común encontrar que la solución a una problemática no atiende exclusivamente a lo que sucede en un punto o nodo de la red, sino a varios de ellos que operan conjuntamente por su cercanía.**
- **Maximizar la capacidad de la red ofreciendo conexiones y zonas de intercambio, eficientes y seguras.**
- **Garantizar la seguridad de todos los actores viales, principalmente de peatones y ciclistas, mediante un diseño que satisfaga las recomendaciones y criterios para una configuración que permita el paso seguro de los mismos.**
- **Ofrecer solución a la mayor cantidad de flujos posibles en la intersección. La eficiencia de la alternativa propuesta estará dada por la cantidad de flujos resueltos, sobre la cantidad de flujos en la intersección, que usualmente es N(N-1) siendo N la cantidad de ramales o accesos, sin incluir retornos.**
- **Realizar una ocupación racional de suelo.**
- **Minimizar los impactos ambientales y sociales, asociados al efecto estético en los alrededores, a las condiciones urbanopaisajísticas y su efecto en la seguridad personal, al ruido, al manejo de actores vulnerables, entre otros.**
- **Ofrecer un diseño acorde con los niveles funcionales de las vías a empalmar.**
- **Mantener coherencia respecto a la estructura urbana y el medio en el que se desarrolla la intersección. Por ejemplo evitar soluciones que estimulen altas velocidades cuando existe cercanía a áreas residenciales, centrales o dotacionales; o cuando se realizan conexiones a redes viales con características de capacidad y velocidad inferiores.**
- **Tener presente el impacto, restricciones y tratamientos que exige la estructura funcional y de servicios públicos, respecto a redes existentes y proyectadas.**

Por lo general y para efectos de la presente guía se reconocen dos tipos de intersecciones: A nivel y a desnivel.

D

INTERSECCIONES A NIVEL

Son cruces viales sin ningún tipo de segregación vertical. En este grupo de intersecciones se incluyen aquellas de prioridad tipo pare o ceda el paso, las semaforizadas y las glorietas normales. De estas pueden derivarse diferentes clases, dependiendo de la cantidad de ramales y los tipos de canalización. Véase sección 4 Diseño de intersecciones a nivel.

D

INTERSECCIONES A DESNIVEL

Conjunto de ramales que se proyectan con cierta segregación vertical, para facilitar el paso directo de determinado(s) movimiento(s) sin que exista conflicto de cruce entre estos, o para proveer el intercambio entre ramales y conexión de diferentes puntos origen-destino, con un menor número de conflictos.
Las intersecciones a desnivel están compuestas por elementos como giros directos (infraestructura destinada a la conexión de dos puntos de origen-destino, siguiendo la trayectoria más corta y directa posible), giros semidireccionales (siguen trayectorias menos directas que el caso anterior), rampas (infraestructura para la conexión de dos superficies de elevaciones diferentes), enlaces indirectos (rampas que permiten llevar a cabo un movimiento de forma indirecta, como por ejemplo una oreja, en la que un giro derecho se realiza por la izquierda).

1.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE INTERSECCIÓN

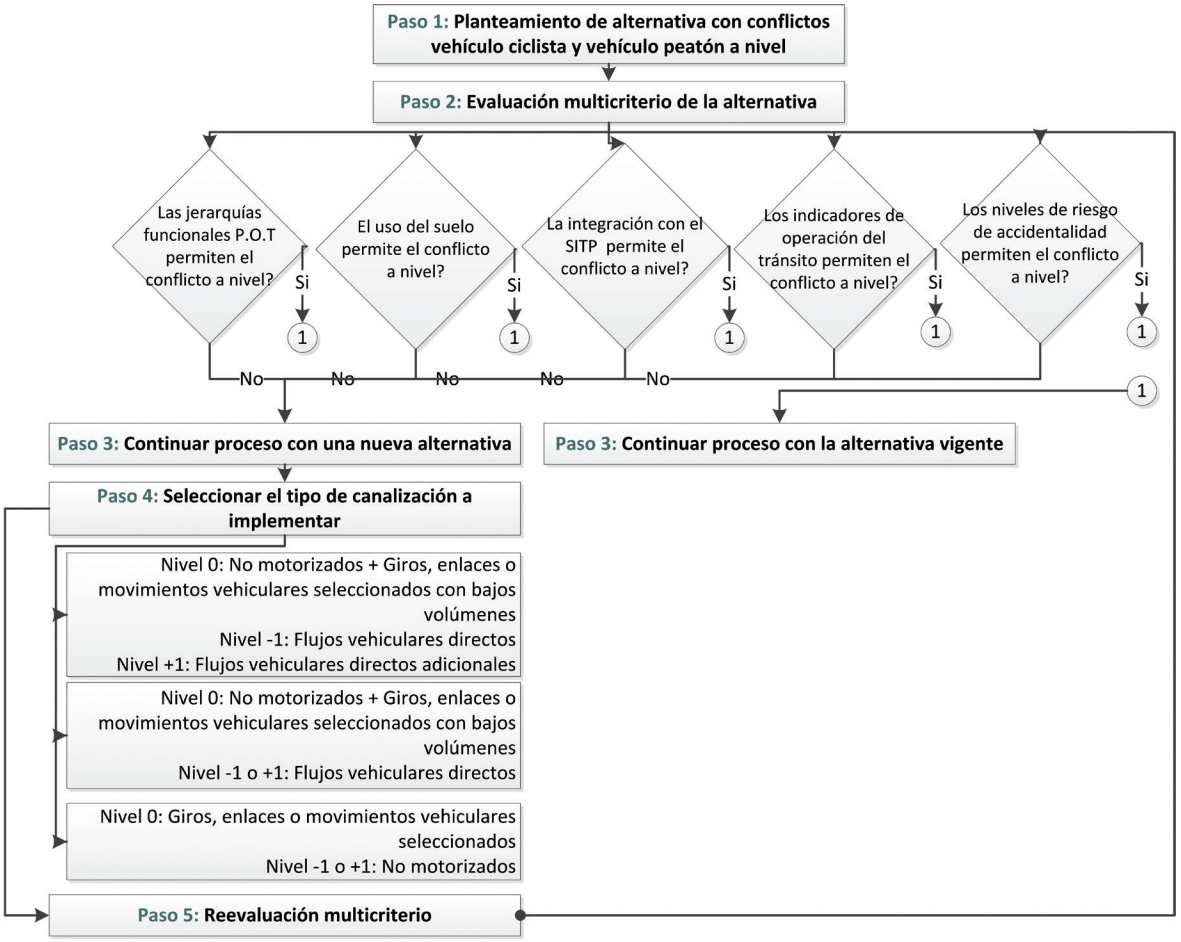
Dentro de los criterios para decidir el tipo de intersección a implementar pueden influir aspectos de planificación, tránsito, seguridad vial, urbanismo e impacto social y ambiental; los cuales deben considerarse integral y racionalmente, con determinada ponderación, para la selección del tipo de intersección a implementar. En general deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos para decidir el tipo de intersección (MOPT, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992):

1. **Jerarquía funcional, Plan Vial de la ciudad:** en función de la jerarquía funcional de la vía se establecen desde la planificación del modelo de ciudad y del modelo de movilidad deseable, el tipo de control de accesos y la clase de intersecciones que deben implementarse para conservar la vocación de las vías. Por ejemplo, para Autopistas Urbanas Concesionadas, las intersecciones serán siempre a desnivel y se diseñarán de forma tal que además permitan el ingreso y la salida a las zonas pagas, de una manera fluida y segura, en todas las direcciones posibles. Es así como ciertos nodos de la red vial tienen un condicionamiento dado, según lo establecido en el POT y los Planes Viales y de Movilidad.

2. **Movimientos de peatones y ciclistas:** en zonas urbanas los itinerarios peatonales pueden adquirir una importancia determinante en el tipo y dimensionamiento de una intersección. Es fundamental proveer al peatón y a los ciclistas de trayectorias que sean directas, cómodas y seguras, evitando cambios de nivel y brindando solución a la mayor cantidad posible de flujos como si se tratase de vehículos. Además, las soluciones en infraestructura deben brindar una calidad y un tratamiento urbanístico que las hagan atractivas y cómodas, y garantizar así que el peatón o el ciclista prefiera usar la infraestructura ofrecida en lugar de circular a riesgo con los vehículos. De acuerdo con lo anterior, el manejo peatonal y de ciclousuarios puede afectar el diseño de una intersección; por ejemplo, la factibilidad de una glorieta a nivel puede verse afectada por una alta afluencia peatonal que obligue a implementar ca-

nalizaciones a desnivel o cambios al tipo de intersección, dada la desfavorabilidad que las glorietas ofrecen para el tránsito peatonal a nivel.

Figura 1. Evaluación para llevar pasos peatonales a desnivel



Fuente: Elaboración propia.

3. **Criterios urbanísticos:** deberán tenerse en cuenta aspectos asociados con la ocupación del suelo dada por la intersección en sí misma, así como las modificaciones en las actividades circundantes, especialmente cuando exista suelo desarrollable en las cercanías de la misma.

   El diseñador debe tener en cuenta que estará condicionado por las características urbanísticas circundantes, la estructura urbana y la configuración de la red vial en la zona de influencia, así como por la proximidad a áreas residenciales y puntos singulares como hospitales, colegios o centros comerciales que condicionen los temas de conectividad, accesibilidad y movilidad peatonal.

4. **Integración con el sistema de transporte:** en función de la infraestructura propuesta para el transporte público masivo, colectivo o individual (zonas amarillas), la intersección deberá tener en cuenta la integración funcional y el manejo efectivo de troncales, carriles exclusivos,

estaciones, terminales y zonas de parada, incluyendo no solo los recorridos vehiculares sino la seguridad, conexión e integración del pasajero hacia las diferentes zonas de la intersección y en vinculación con los diferentes modos que hagan uso de la misma. Todo en pro de una circulación fluida y segura.

5. **Intensidad y Tipo de Tráfico:** en función de los volúmenes y composición del tráfico vehicular y peatonal, se establecerá el tratamiento (a nivel o desnivel, combinado o canalizado) que deberán tener los diferentes flujos que acceden a la intersección. Este análisis representará un proceso dinámico de integración con el diseño geométrico, a fin de generar recomendaciones que permitan mejoras en los indicadores de operación. El proceso de análisis e integración del tránsito y el diseño se describirá a lo largo del presente capítulo.

6. **Criterios físicos:** la configuración del terreno, su relieve y el perfil longitudinal de las vías a empalmar, son elementos que condicionan la decisión sobre el tipo de intersección a implementar. Algunas topografías del terreno pueden favorecer o no ciertos tipos de soluciones; en todo caso el planteamiento final dependerá de la experticia del diseñador.

Por último, vale la pena recalcar que una intersección a desnivel se construye, principalmente para:

- Aumentar la capacidad y nivel de servicio de intersecciones importantes con altos volúmenes de tránsito y elevados índices de inseguridad.
- Eliminar de riesgos. En la intersección de vías rápidas generalmente se pueden presentar accidentes serios que ameritan una solución a desnivel.
- Formar una vía libre. El objetivo principal es formar un flujo directo rápido, seguro y sin interrupciones del tráfico.
- Evitar congestiones en la intersección. Cuando la capacidad de una intersección a nivel llega a su tope, las congestiones son intolerables aumentando los niveles de servicio a críticos; una forma de disminuir las congestiones es mediante una intersección a nivel.
- Minimizar impacto ambiental.
- Separar dos modos de transporte.
- Reducir costos para los usuarios de la vía. Los retrasos causados por congestiones son costosos para el usuario de la vía, y están representados en el costo de combustibles, llantas, aceite, reparaciones, tiempo, accidentes y otros. Las intersecciones a desnivel suelen disminuir los tiempos de viaje y por consiguiente los costos de operación.

1.2 TIPOS DE INTERSECCIONES COMUNES

A continuación se presentan los tipos de intersecciones más comunes, toda vez que el planteamiento de soluciones atípicas, innovadoras, o basadas en la combinación de las tipologías comunes, no es restrictiva para el diseñador, siempre y cuando se involucren ciertos lineamientos

que podrán ser extrapolados a cualquier otra alternativa de solución, con base en los parámetros básicos que esta Guía describe. Este numeral presenta descripciones generales exclusivamente, pero los detalles de diseño, y las ventajas y desventajas de cada tipo se describirán más adelante, en el desarrollo del presente capítulo:

Nota: Los tipos de intersecciones que se presentan aluden a conceptos generales que pueden usarse para resolver intersecciones de tres o más ramales, en relación con el planteamiento conceptual general de la intersección completa. Aspectos relativos al análisis puntual de los conflictos de convergencia y divergencia, serán tratados puntual y específicamente en el numeral 4. Consideraciones geométricas para el diseño de bifurcaciones.

1.2.1 De prioridad y semaforizadas

En cuanto a las intersecciones semaforizadas y de prioridad tipo pare o ceda el paso, es posible identificar las siguientes clasificaciones.



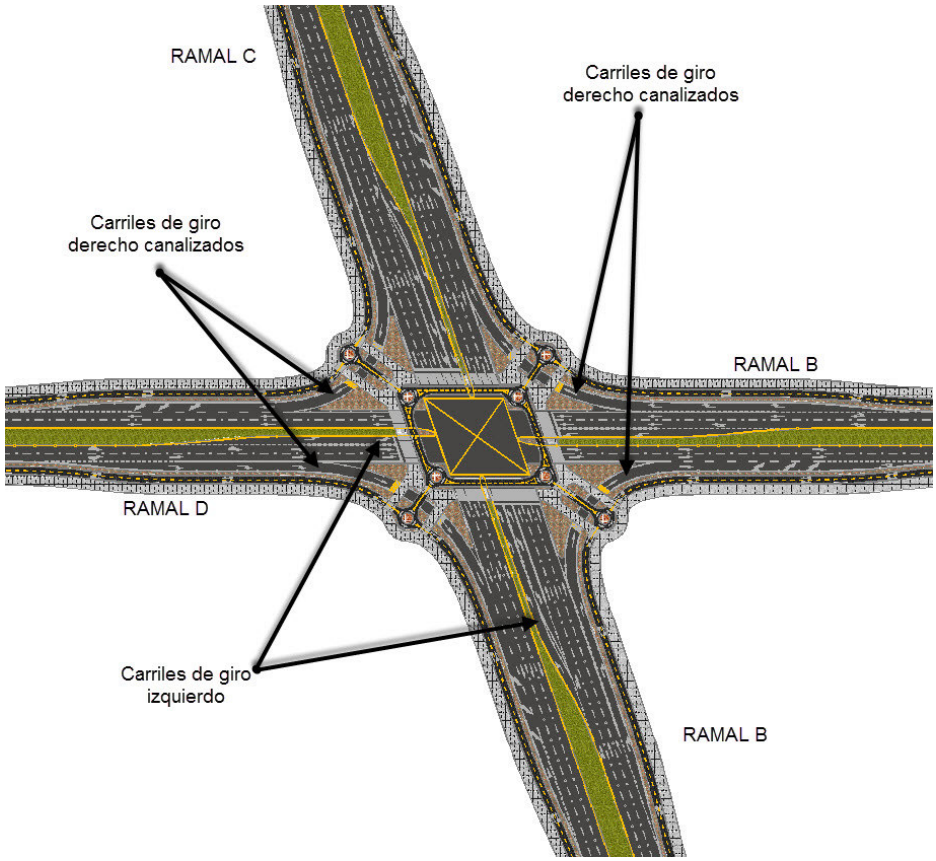
TIPOS DE INTERSECCIONES

- **Según el número de ramales se clasifican en:**
  Intersecciones de tres ramales.
  Intersecciones de cuatro ramales.
  Intersecciones de más de cuatro ramales.
- **Según el manejo de los movimientos se pueden clasificar en:**
  Intersecciones canalizadas.
  Intersecciones sin canalizar.
- **Según el tipo de control estas se pueden clasificar en:**
  Intersecciones controladas por PARE.
  Intersecciones semaforizadas.
  Intersecciones controladas por ceda el paso.

En la Figura 2 se observa una intersección semaforizada urbana de cuatro ramales de dos vías Arteriales Principales. En esta intersección existen giros derechos canalizados en cada uno de los ramales al igual que giros izquierdos; además, incluye una solución al flujo peatonal y de ciclousuarios con prelación. (Véase numeral 5.5. Consideraciones para el tratamiento de flujos no motorizados).

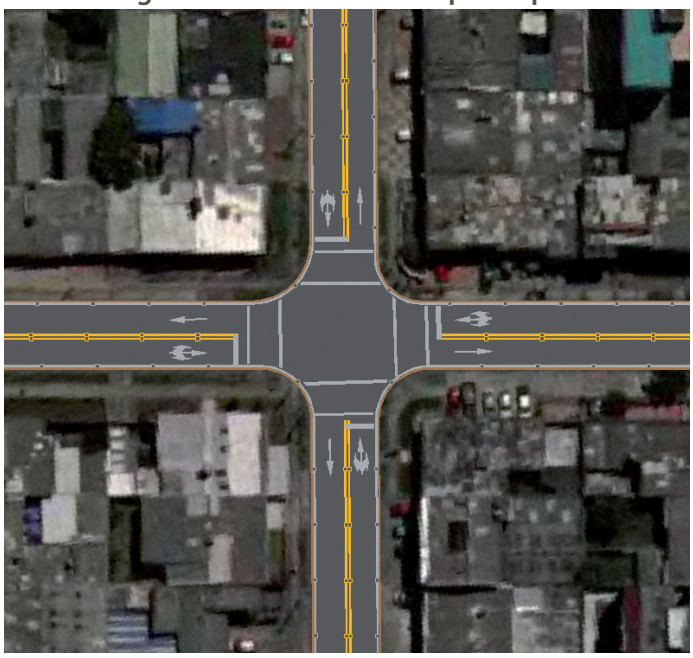
Por su parte, en la Figura 3 se observa una intersección a nivel regulada por PARE, de dos vías locales, en la que no existe ningún tipo de canalización para realizar giros derechos o izquierdo, correspondiente a escalas zonales de usos habitacionales principalmente.

Figura 2. Intersección semaforizada, canalizada de cuatro ramales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Intersección con pare típica



Fuente: Elaboración propia.

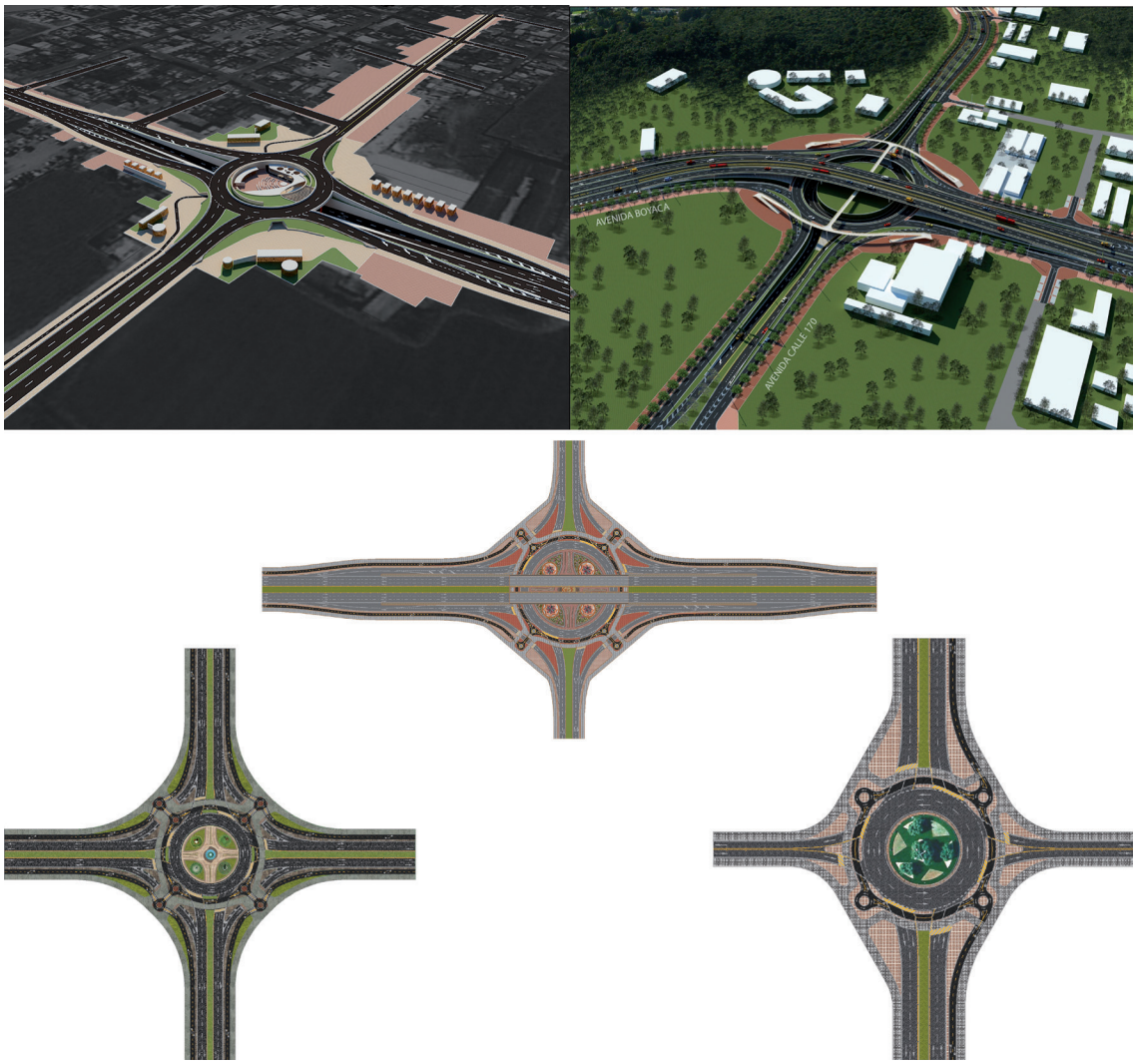
1.2.2 Intersecciones anulares

D

INTERSECCIÓN ANULAR

Intersecciones que se basan en la circulación de todos los vehículos por una calzada anular que discurre en torno a un islote central, en el que confluyen las diferentes vías o ramales. Aunque existen diferentes tipos de intersecciones anulares, ésta Guía se centra en aquellas en las cuales la prioridad de circulación la tienen quienes transitan por la calzada anular y que por lo tanto, geométricamente incitan un verdadero ceda el paso en el acceso a la misma; este subtipo de intersección se conoce como glorieta normal.

Figura 4. Ejemplos de intersecciones anulares



Fuente: Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S y Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

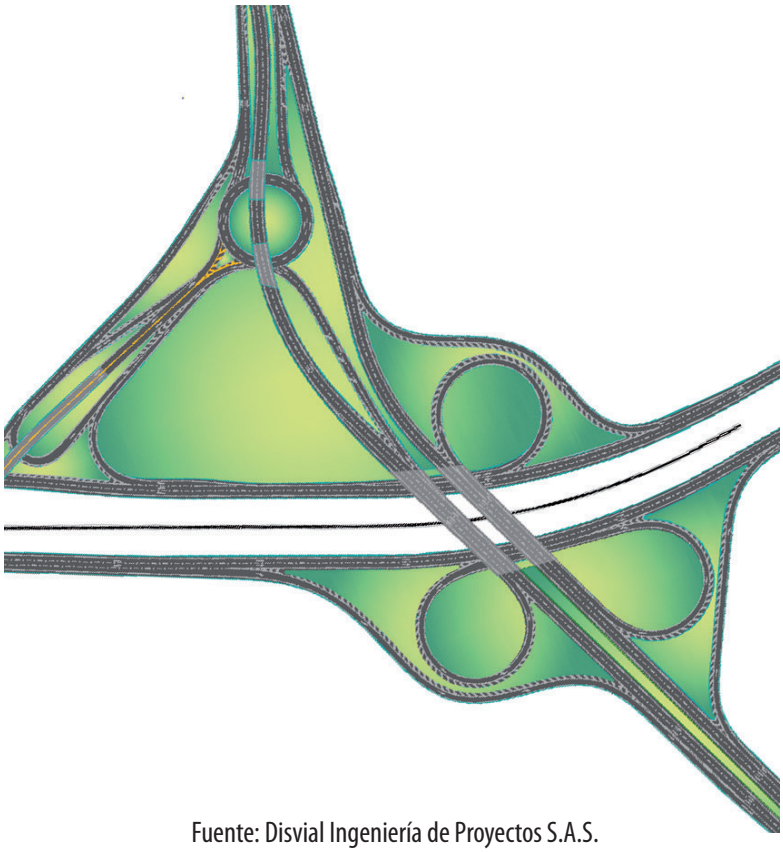
1.2.3 Intersecciones con orejas

D

TRÉBOL

Intersecciones de cuatro ramales en las que se ha hecho continúo un giro a la izquierda mediante una vía de enlace tipo oreja. Los tréboles dan prioridad a los movimientos directos y permiten realizar los movimientos de giro izquierdo y derecho con una condición de parada que genera puntos de conflicto tipo divergencia, convergencia y/o entrecruzamiento. Pueden ser parciales cuando existen impedimentos para utilizar alguno de los cuadrantes de la intersección, o totales cuando es factible desarrollar las cuatro orejas.

Figura 5. Ejemplos de trébol combinado



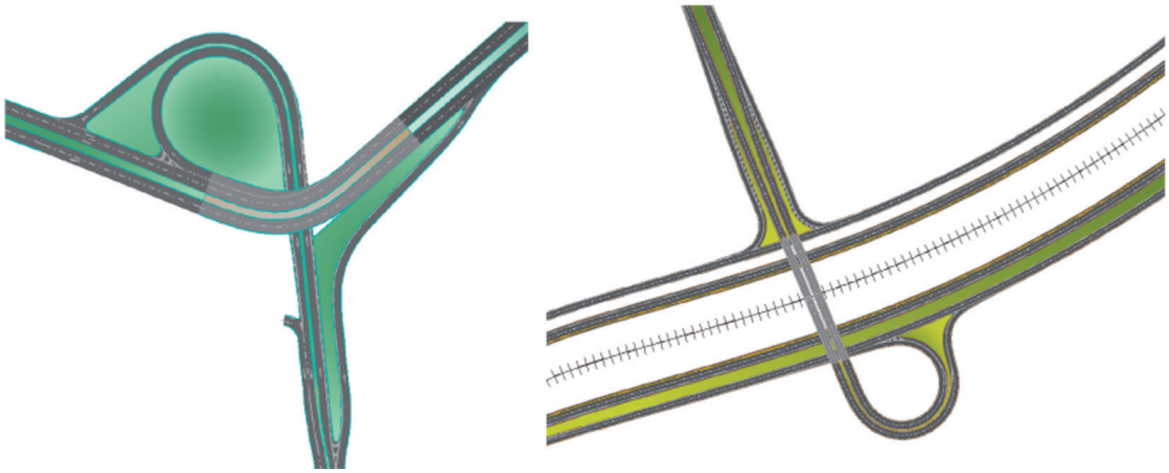
Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

D

TROMPETA

Intersección de tres ramales (Tipo "Te"), en la que los giros a la derecha y a la izquierda se resuelven por medio de giros direccionales, semidireccionales y orejas.

Figura 6. Ejemplos de trompetas



Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

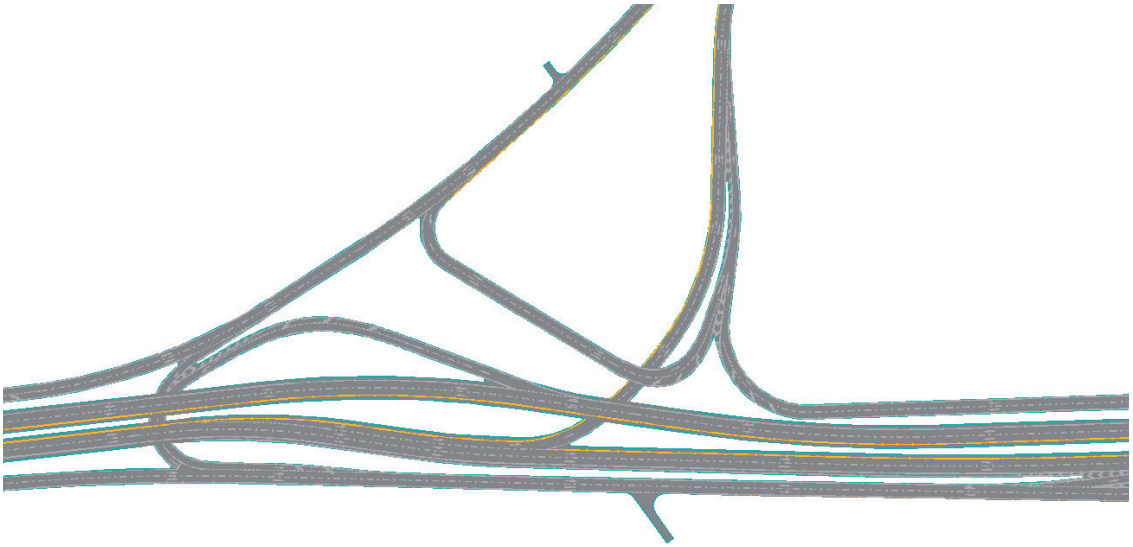
1.2.4 Otros tipos

D

INTERSECCIONES A DESNIVEL SEMIDIRECCIONALES

Se caracterizan por presentar ramales a desnivel para uno o más giros izquierdos sobre una dirección específica o próximos a alineamientos direccionales. Se utilizan especialmente en corredores arteriales con presencia peatonal baja.

Figura 7. Ejemplo de Intersección con giros semidireccionales



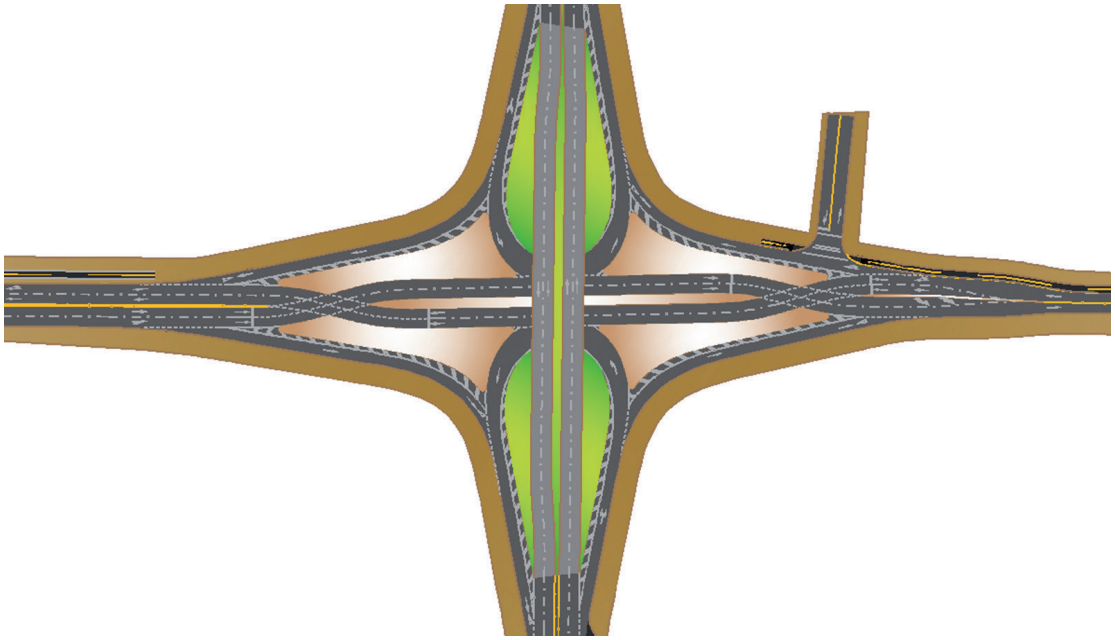
Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

D

CRUCE DIVERGENTE EN DIAMANTE

Intersección que se caracteriza por la forma de diamante que configuran sus ramales, y por contar con una zona en la cual el tránsito se realiza con circulación por el lado izquierdo, al estilo inglés. Como consecuencia, la intersección presenta áreas de cruce susceptibles de manejar con pare o con semáforo según los volúmenes vehiculares y peatonales. Su ventaja radica en que facilitan los giros izquierdos realizándolos por la derecha, de forma más directa; además pueden llegar a reducir el número de fases, respecto a una intersección semaforizada convencional.

Figura 8. Ejemplo de cruce divergente en diamante



Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

2. LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES

En el presente numeral se exponen algunas recomendaciones geométricas generales que deben ser tenidas en cuenta para el planteamiento de una alternativa de solución sin importar el tipo de intersección a implementar. Se constituyen así como lineamientos generales, que pueden orientar los planeamientos, con base en las condiciones existentes (diagnóstico de la situación actual), las necesidades, requerimientos y el ideal del planteamiento geométrico. Cabe aclarar que cada caso a resolver será particular y merecerá un tratamiento único, por lo tanto es posible que no todos los criterios sean aplicables en todos los casos, pero pueden usarse como base para el desarrollo de una lista de chequeo y control para el diseñador.

- En intersecciones a nivel con pare o semaforizadas, es posible limitar algunos movimientos, con el fin de otorgar mejores indicadores de operación. No obstante, esta situación aplicable a vías intermedias y complementarias, debe buscar soluciones que mitiguen los impactos a la accesibilidad derivados de las restricciones a ciertos movimientos. Las medidas de gestión del tráfico: organización de sentidos viales, orejas manzana, pares viales entre otras, deben ser analizadas como alternativas.

- Reducción de áreas de conflicto. Las grandes superficies pavimentadas carentes de señalización o canalizaciones físicas, pueden incitar trayectorias libres en competencia por el espacio con otras, sin prioridades de circulación claras, que aumentan los niveles de exposición al riesgo de accidentalidad. Así, las áreas de conflicto, entendidas como zonas de convergencia, divergencia y entrecruzamiento, o zonas de abocinamiento o transición de carriles, e incluso zonas de interacción entre peatones, ciclistas y vehículos, pueden ser tratadas mediante una geometría coherente con las trayectorias, complementada con señalización y canalizaciones físicas, con cambio de textura, en pintura, o con variaciones en la elevación (según sea el caso; para flujos peatonales altos se recomiendan canalizaciones físicas, que incluyan en lo posible diferencias altimétricas en las rasantes) que sean oportunas, visibles, claras y pertinentes.

- Siempre deberá realizarse una verificación de zonas de conflicto, como parte del diagnóstico de la situación actual y de la verificación del diseño propuesto. Los conflictos tipo vehículo-vehículo suelen presentarse en cruces, convergencias, divergencias y entrecruzamientos. Para llevar un cruce a desnivel, deberán tenerse en cuenta los criterios del numeral 1.1. Elección del tipo de intersección; en cuanto a las convergencias y divergencias, la evaluación dependerá de la posible confluencia con peatones y/o ciclistas y de los indicadores de operación del tránsito, los cuales pueden llevar a sugerir canalizaciones a desnivel, adición de carriles, canalizaciones, entre otros. Por su parte, los entrecruzamientos deberán evitarse siempre que sea posible.

  De otro lado, los conflictos con peatones y/o ciclistas y entre ellos mismos, también deben ser analizados a la luz del tránsito, la seguridad vial, la normatividad vigente y los demás criterios ya mencionados. En todo caso, la prioridad en cualquier conflicto que involucre modos no motorizados, deberá ser precisamente para este actor, por ser el más vulnerable.

- Control de la velocidad. El control de velocidades en una intersección depende del manejo seguro de las transiciones entre velocidades; la diferencia entre velocidades específicas de dos curvas consecutivas no deberá ser mayor a 20 km/h. Si bien cada corriente vehicular podría tener una velocidad de diseño propia, debe garantizarse en todos los enlaces, que los procesos de aceleración y desaceleración se desarrollen según los criterios que se exponen en el capítulo de bifurcaciones.

  Para intersecciones de prioridad con afluencia alta de peatones, debe complementarse la gestión, con la incorporación de instrumentos de tráfico calmado.

- Control de puntos de giro. En las intersecciones se deben evitar puntos en giros no convenientes que coloquen en peligro a peatones u otros vehículos. En este sentido, las canalizaciones deben incluir geometrías coherentes con las medidas de control y gestión que se implementen; así, si la intención es impedir un determinado giro, los alineamientos por borde deben materializar tal condición.

- Creación de zonas protegidas. Las isletas proporcionan a los vehículos los espacios protegidos que necesitan para lograr su incorporación al tráfico de destino. En el caso de protección peatonal, la creación de isletas responde a la necesidad de protección del peatón mientras éste cruza una vía en la que se debe hacer en dos etapas o más (Véase 5.1.3 Isletas).

- Visibilidad. La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso llegando a la detención total. Entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto debe existir, como mínimo la distancia de parada.

- Claridad: Las intersecciones no deben permitir dudas a los conductores, esto se logra mediante señalización oportuna, visible, clara y pertinente, complementada con una geometría precisa que oriente al conductor y no dé lugar a dudas o equivocaciones.

2.1 CRITERIOS DE TRÁNSITO EN INTERSECCIONES

El análisis de tránsito para la intersecciones debe contemplar de forma integral todos los usuarios que hacen uso de ésta, en consecuencia, debe prestarse atención a las condiciones de operación de las infraestructura destinada a vehículos, peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida.

Dentro de la literatura y en varias de las herramientas de análisis, se ofrecen distintas metodologías para evaluar la operación de flujos motorizados, peatones y ciclousuarios; respecto a las personas en condiciones de movilidad reducida, el tratamiento debe tener un enfoque desde el amoblamiento y urbanismo que garantice su accesibilidad.

El análisis de tránsito deberá proveer las medidas de efectividad o indicadores de operación que describan el comportamiento de la intersección frente a las demandas de tránsito. Estas pueden variar según sea la herramienta de análisis o la metodología seguida, comúnmente pueden ser obtenidos reportes relacionados con:

- Grado de utilización de la intersección.
- Relación volumen a capacidad.
- Colas.
- Demoras.
- Reportes gráficos.
- Otros reportes consignados en manuales y guías para estudios de tránsito.

Cada uno de los anteriores indicadores permite conocer la idoneidad de la intersección, las zonas de conflicto vehicular, los pasos peatonales y los pasos de ciclousuarios, frente a las demandas esperadas, obteniendo por ejemplo indicadores del nivel de servicio a partir de los reportes de demoras o los rangos de variación para la relación volumen a capacidad.

Como ejemplo se presenta en la siguiente tabla, el rango de variación de la relación volumen a capacidad.

Tabla 1. Rango de variación relación volumen a capacidad

Relación Volumen a Capacidad	Descripción
< 0.85	La intersección opera debajo de su capacidad, no se experimentan demoras excesivas.
0.85 a 0.95	La intersección opera cerca de la capacidad, altas demoras pueden ser experimentadas, aunque no se alcance la formación de grandes colas.
0.95 a 1.0	El flujo es inestable con un alto rango de demoras, se requieren mejoras en la intersección para prevenir las demoras excesivas.
> 1.0	La demanda excede la capacidad, se observan demoras excesivas y altas longitudes de cola.

Fuente: Tomado y traducido de (FHWA, Federal Highway Administration, 2004).

Como resultado del análisis de tránsito para el diseño de intersecciones se requiere al menos la siguiente información:

- Volumen por movimiento desglosando su composición vehicular.
- Análisis de capacidad por movimiento o por acceso.
- Reporte de longitudes de cola por movimiento, útiles para la definición de la longitud de almacenamiento de carriles de giro.

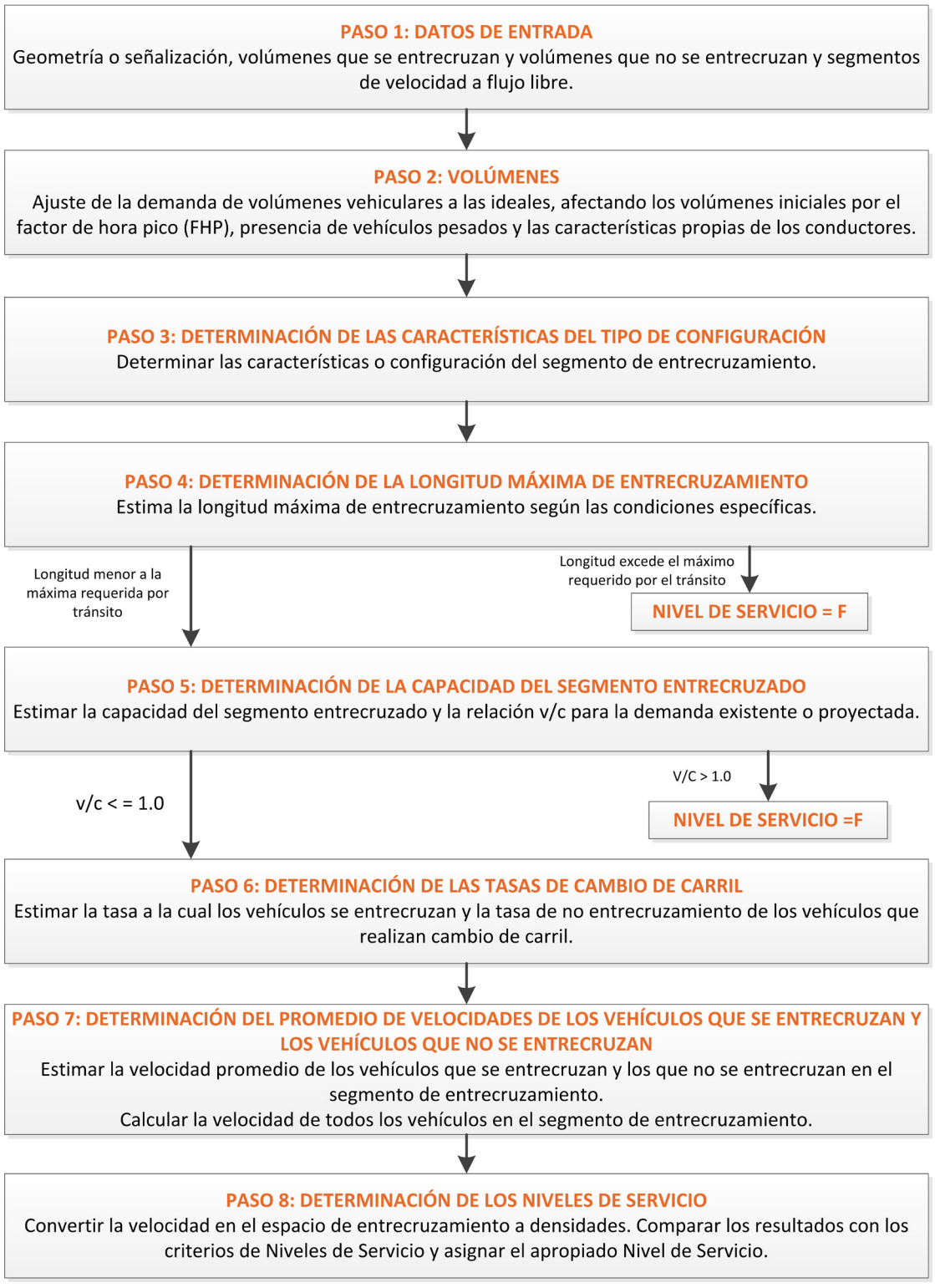
En su más reciente versión, el HCM 2010 presenta una nueva aproximación al análisis del tránsito para entrecruzamientos y maniobras de convergencia y divergencia. Según la nueva metodología se presentan tres variables de importancia desde el diseño geométrico que son:

- Configuración del carril: forma en que los carriles de entrada y salida se alinean entre sí.
- Longitud del área de entrecruzamiento: distancia entre el sitio de convergencia y divergencia.
- Ancho (número de carriles) en el área de entrecruzamiento.

De lo anterior, la geometría juega un papel primordial en la operación de los puntos de entrecruzamiento, y como tal, se debe verificar con el análisis de tránsito que estos puntos no generen colas o demoras adicionales que afecten la operación de los segmentos viales que se conectan.

En la Figura 9 se ilustra el algoritmo para el análisis de entrecruzamientos que presenta el HCM, 2010 por tanto se invita a revisar en detalle tal metodología.

Figura 9. Metodología para el análisis de entrecruzamiento HCM 2010



Fuente: Elaboración propia, adaptado de HCM 2010.

3. LÍNEAS DE FLUJO Y ZONAS DE CONFLICTO

Con el propósito de identificar, analizar y diseñar intersecciones, es pertinente en primera instancia conocer la metodología de análisis por líneas de flujo, entendiendo el término como un recorrido definido por una trayectoria con origen y destino definidos, en un tramo de análisis particular. Dicha metodología es útil para llevar acabo metódicamente un diagnóstico completo, así como para revisar los planteamientos que se propongan, con el objetivo de entender las nociones conceptuales, encontrar puntos de comparación entre alternativas, definir las zonas de conflicto, interpretar la trayectoria de la corriente vehicular, sus características geométricas y sus impactos en la operación de la solución, entre otros aspectos.

En segundo orden, deberá llevarse a cabo la identificación de puntos de conflicto, asociados principalmente a los movimientos de los vehículos en las intersecciones y su interacción con los modos no motorizados.

3.1 ANÁLISIS DE LÍNEAS DE FLUJO

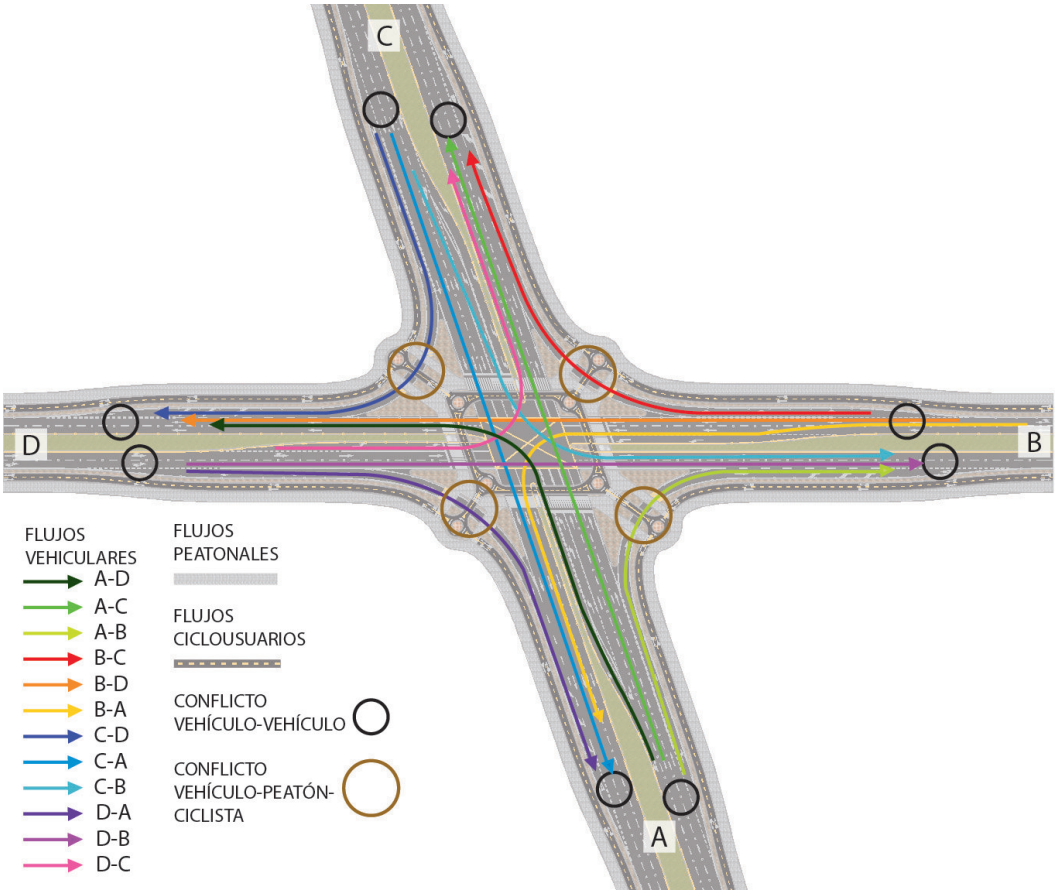
Se refiere a la metodología de análisis que parte de la verificación de cada uno de los flujos Origen-Destino que pueden darse en determinada intersección, para diseñar, evaluar o analizar cada uno de forma particular. Esta metodología permite, por una parte, identificar la forma en que se realizan los flujos actuales y definir las problemáticas; por otro lado, es una herramienta para la conceptualización de intersecciones eficientes que intenten dar solución a la mayor cantidad de movimientos. Además, es un procedimiento útil para el desarrollo de auditorías de seguridad vial.

Como primera medida se debe dar un nombre a cada ramal en el sentido de las manecillas del reloj, generalmente estos nombres corresponden a letras del abecedario, es decir, si se tiene un eje de diseño que va del ramal A al ramal C, éste se debería llamar eje AC.

La cantidad de flujos posibles (FP) está definida por el número de ramales multiplicada por el número de ramales menos uno; FP= N(N-1); siendo N la cantidad de ramales o accesos, sin incluir retornos.

En la figura que sigue se observa una intersección semaforizada de cuatro ramales; aplicando la fórmula para obtener los flujos posibles en la intersección se tiene que: FP=4*(4-1)=12. A pesar de que la intersección garantiza esos doce flujos, no incluye los flujos A-A; B-B; C-C Y D-D es decir los retornos.

Figura 10. Líneas de flujos vehiculares y zonas de conflicto



Fuente: Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

Es importante recalcar que el análisis de las líneas de flujo de una alternativa propuesta para una intersección, va de la mano con la eficiencia de la misma dado que ésta se define por la cantidad de flujos resueltos, sobre la cantidad de flujos posibles en la intersección. De acuerdo con lo presentado en el Capítulo 2, en la sección de evaluación multicriterio de alternativas, éste es uno de los ítems a evaluar dentro del diseño geométrico y busca medir el porcentaje de flujos efectivamente resueltos con la solución, incluyendo los retornos. A continuación se presenta la ecuación que mide la eficiencia de una intersección.

$$\text{Eficiencia de la Intersección} = \frac{\text{Movimientos Resueltos}}{\text{\# de ramales*\# de ramales}} * 100$$

Es importante mencionar que las intersecciones de ciclorrutas o senderos peatonales, deben seguir un tratamiento similar al mencionado anteriormente, de modo que estos usuarios puedan ir de un lado al otro de forma segura y cómoda. Lo anterior supone disponer de una infraestructura que permita la solución de todos los movimientos posibles, como se muestra en los numerales 5.4, 6.6 y 7.3

3.2 MOVIMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS EN LAS INTERSECCIONES

Antes de abordar el diseño geométrico en intersecciones urbanas es importante dar a conocer la teoría sobre los tipos de movimientos que realizan los vehículos cuando entran o salen de una intersección, los cuales son más complicados que los presentados en corredores viales y de su tratamiento oportuno depende la seguridad de la intersección.

Además, como se mencionó antes, los movimientos en la intersecciones determinan las zonas de conflicto vehículo-vehículo, vehículo-peatón, vehículo-ciclista y peatón-ciclista, las cuales deben ser resueltas con canalizaciones claras, que otorguen prioridad a los modos no motorizados, si están presentes, o que entre vehículos, definan claramente los mecanismos de circulación y control.

En este sentido, a continuación se describen los movimientos de convergencia, divergencia y entrecruzamiento, inicialmente para conflictos vehículo-vehículo, y posteriormente se presentan las salvedades y recomendaciones para conflictos que incluyen modos no motorizados.

3.2.1 Convergencias

D

CONVERGENCIA

Se trata de la unión de dos o más flujos vehiculares para formar un solo flujo, esta situación causa competencia por el uso de la vía generando una zona de conflicto la cual debe ser minimizada con una geometría que disminuya los impactos del movimiento y garantice una circulación cómoda y segura (AASHTO, 2011).

Teóricamente las convergencias están conformadas por una rampa de acceso a un flujo principal, un carril y una cuña de aceleración o longitud de transición. Dicha rampa se conecta generando por un costado, un punto comúnmente denominado nariz, y por otro el carril y la cuña.

El carril de aceleración se requiere siempre que la velocidad específica del flujo convergente (determinada por el radio de la incorporación) difiera en más de 20 km/h respecto al flujo principal. También es necesario en intersecciones que presentan pasos peatonales y de ciclousuarios, debido a que los vehículos requieren parar o transitar a una velocidad cercana a cero para permitir el paso de peatones y ciclousuarios, acelerando nuevamente para alcanzar una velocidad parecida a la registrada en la calzada principal.

La configuración geométrica debe permitir un carril con una longitud tal que se logre aumentar la velocidad desde la velocidad específica del ramal, hasta una velocidad cercana a la del flujo principal; posteriormente la cuña debe contar con una configuración geométrica tal que la conexión final se realice a la misma velocidad a la que circulan los vehículos en la calzada a la cual

se converge. Cabe anotar, que en condiciones urbanas existen restricciones del entorno y la configuración del espacio público, que pueden limitar la geometría en este tipo de movimientos; en todo caso se deben buscar medidas alternas que mitiguen las falencias de seguridad vial derivadas de esta condición.

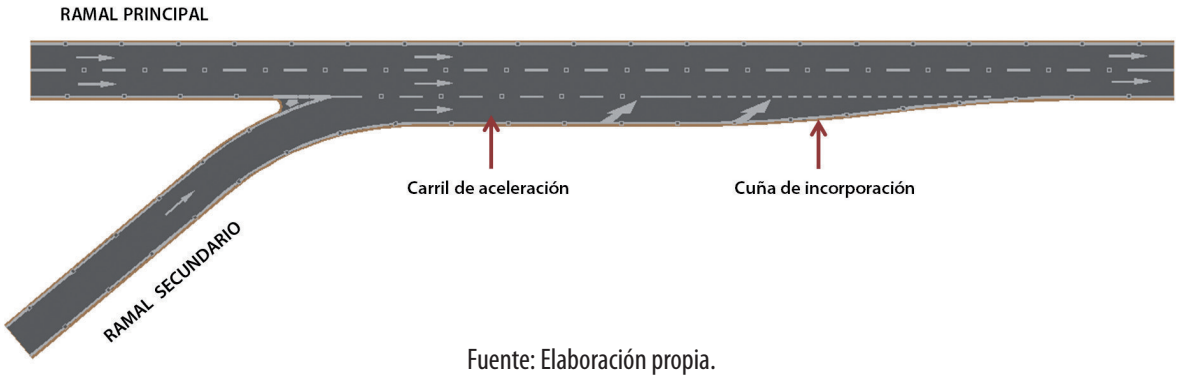
R

- **El carril de aceleración se requiere siempre que la velocidad específica del flujo convergente difiera en más de 20 km/h respecto al flujo principal.**
- **Independientemente del radio en la incorporación, siempre que haya paso peatonal la velocidad inicial del ramal para calcular la longitud del mismo será de 0 km/h, situación que condicionará la longitud del carril de aceleración.**
- **La longitud del carril permite que se logre aumentar la velocidad desde la específica del ramal, hasta una velocidad cercana a la del flujo principal.**
- **La geometría de la cuña permite que la conexión final se realice a la misma velocidad a la cual circulan los vehículos en la calzada principal.**
- **El número de carriles antes de una convergencia no debe diferir en la suma del número de carriles después de la convergencia. En todo caso, se realizarán las canalizaciones para que converja solo un carril, en un carril de aceleración.**

A continuación se presentan algunos esquemas conceptuales con las geometrías más comunes en relación con estas zonas de conflicto.

Convergencia aislada: este tipo de convergencia se presenta cuando se incorpora a una vía un ramal sin que existan otras cercanas que puedan influir en su comportamiento. Por sus características, en Bogotá son muy difíciles de encontrar, especialmente en áreas urbanas densificadas, incluso aunque se trate de vías arteriales. Por tanto, su uso se restringe a áreas suburbanas y rurales, o para el desarrollo de las futuras autopistas urbanas.

Figura 11. Convergencia aislada



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 corresponde a un esquema netamente vial para explicar los componentes de la forma convencional de convergencia. No obstante, cabe anotar que el espacio público, los senderos peatonales, las ciclorrutas, la línea de paramentación, la altimetría, la función de la vía entre otros factores, pueden generar diferentes configuraciones, tales como:

Tipo 1- Convergencias por la izquierda: es aquella en la que el movimiento convergente accede por el lado izquierdo de la calzada principal de circulación. Si la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario es mayor a 20 km/h debe llevar carril de aceleración.

Tipo 2- Convergencias por la derecha: la conexión del movimiento convergente al movimiento principal se da por la derecha. Si la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario es mayor a 20 km/h debe llevar carril de aceleración.

Tipo 3- Convergencia con cuña de incorporación: no incluye carril de aceleración sino un área de transición para la incorporación al flujo principal y la transición de velocidades. Geométricamente se componen de una longitud recomendada y concatenaciones circulares con radios seleccionados en función de las velocidades.

Tipo 4- Convergencia con adición de carril: se presenta cuando desde el ramal de incorporación inicia un nuevo carril que incrementa el número de carriles que se encontraban hacia atrás de la convergencia sobre la vía principal.

Tipo 5- Convergencia de ramales con la misma cantidad de carriles de entrada que de salida: ocurre cuando los carriles antes de la convergencia son los mismos a la salida de esta.

Tipo 6- Convergencia de ramales con más carriles de entrada que de salida: se caracteriza porque la suma de los carriles que se incorporan no es igual a los que se encuentran después de la convergencia.

Tipo 7- Convergencia con carriles escalonados: este tipo de convergencia sucede cuando a una vía principal converge una vía con dos carriles y cada uno tiene su propio carril de aceleración obligando a hacer maniobras sucesivas de incorporación a la izquierda.

Tipo 8- Convergencias de giros canalizados: son aquellas que provienen de la canalización de un movimiento de giro izquierdo o derecho canalizado a nivel.

Tipo 9- Convergencias desde retornos: las que provienen desde un movimiento de retorno.

Estos nueve tipos de convergencias, además, pueden presentar mezclas entre sí que generan diferentes configuraciones geométricas, como se ejemplificará más adelante.

Convergencias adyacentes: se presentan cuando dos ramales de incorporación o más, son tan cercanos que su funcionamiento es mutuamente afectado. Son las más comunes en medios urbanos dada la configuración tipo retícula de la red vial y el carente control de accesos de las vías arteriales. Aunque en los proyectos de AU y VRU se deberían evitar, es claro que en las actuales

VAC existen, y sus impactos negativos deben ser mitigados. Además, en vías colectoras son comunes, ya que su función es precisamente la de recolectar y distribuir flujos y por tanto presentan constantes convergencias y divergencias. Por esta razón, los nueve tipos de convergencias mencionados se describirán básicamente a la luz del carácter adyacente de las convergencias a nivel urbano, específicamente para el caso de Bogotá.

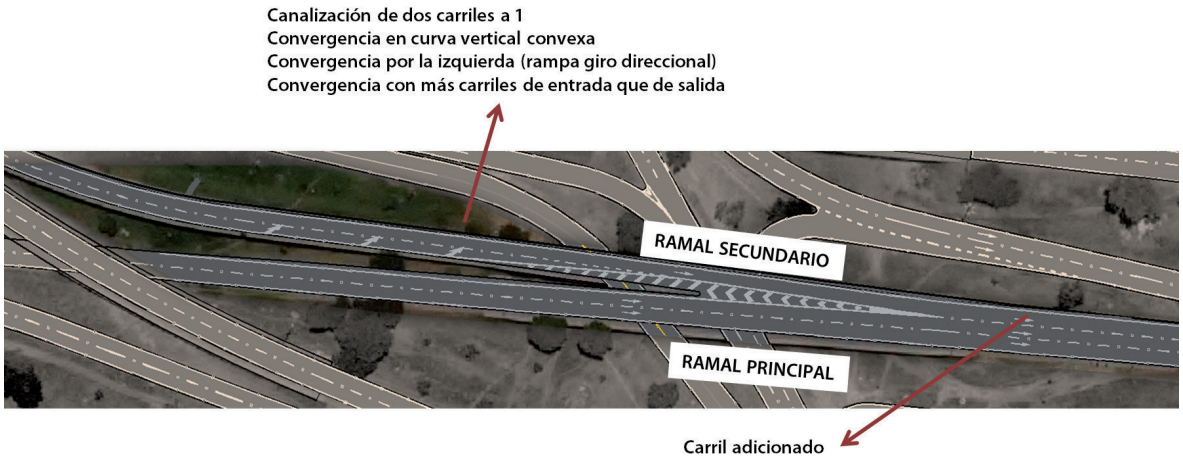
Convergencia por la Izquierda

Son comunes en la convergencia de giros direccionales y semidireccionales, en retornos e intercambiadores de calzada[1]. Pueden presentarse a nivel, protegidas por un separador central cuando se trata de vías de dos calzadas o más, o desde un acceso convencional cuando se trata de vías de un solo sentido de flujo. También se presentan a desnivel, bien sea con dos ramales con rasantes de elevaciones similares que se convierten en uno solo, o cuando un ramal sirve a la conexión de dos niveles diferentes y converge a un movimiento principal por la izquierda.

Son más exigentes que las convergencias por la derecha, dado que acceden al carril de tránsito rápido, por el lado izquierdo del vehículo y por lo tanto requieren carriles de aceleración mayores y/o canalizaciones que mitiguen los conflictos derivados del cambio de velocidades.

A continuación se presenta un ejemplo de convergencia por la izquierda, proveniente de una rampa de giro direccional, que se realiza en una zona a desnivel y coincide con una curva vertical convexa. Simultáneamente puede catalogarse en el tipo 4, pues se incorpora con adición de carril. Finalmente, puede agruparse también dentro del tipo 6, en el cual antes de la convergencia se presentan más carriles que después de la misma.

Figura 12. Convergencia tipo 1-4-6 con visibilidad restringida



Fuente: Elaboración propia.

1. El tema de intercambiadores de calzada se trató individualmente en el Capítulo 3.

En el caso de la Figura 12, el ramal accede por la izquierda; no obstante desde la zona de convergencia nace un nuevo carril que se adiciona al flujo principal, hecho que mitiga los inconvenientes derivados de la transición de velocidades y problemáticas de visibilidad que se pudieran presentar por estar localizado en una curva vertical convexa. El carril adicionado está dando continuidad al flujo convergente aumentando así la capacidad del movimiento; además de que genera una zona en la que sin inconvenientes se puede transicionar el peralte o bombeo desde el ramal, hasta el peralte propio de la calzada principal (Véase numeral 4.2. Consideraciones para el manejo de peraltes).

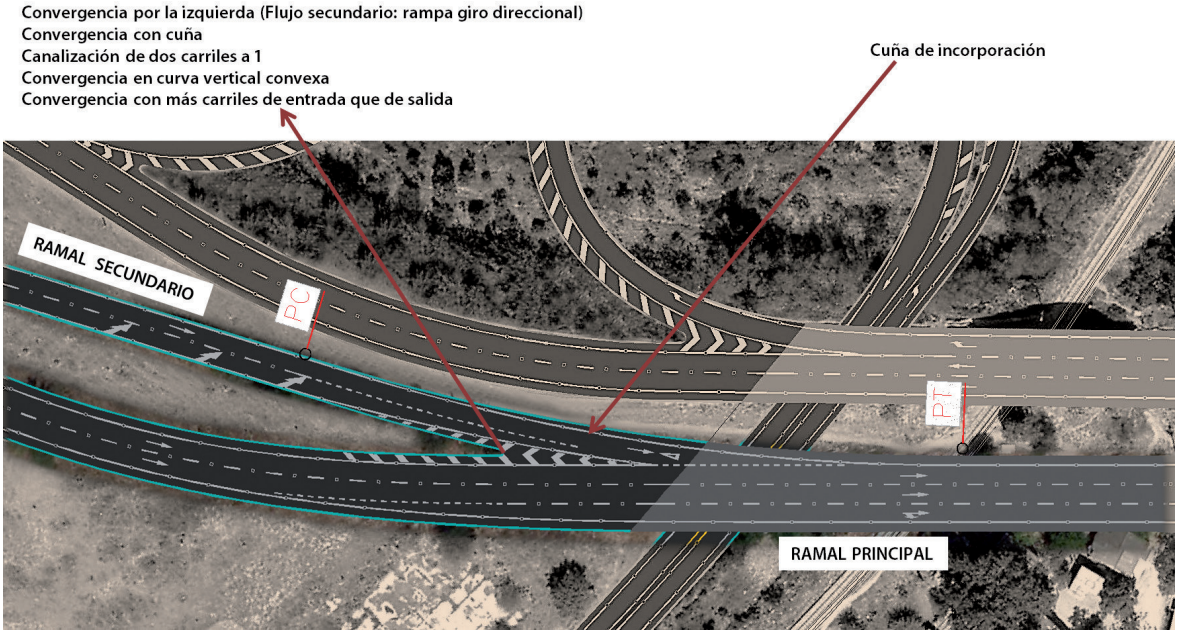
En este caso, no obstante que la cantidad de carriles atrás de la convergencia es mayor a la que se haya después de la misma, no presenta problema alguno puesto que en términos de demandas, puede considerarse que el ramal convergente alberga un nivel de flujo inferior al de la calzada principal, y por lo tanto se puede dar una reducción de carriles de 2 a 1 desde antes de la zona de convergencia, para que el movimiento se dé con seguridad. En ningún caso podrá permitirse el acceso simultáneo de los dos carriles del ramal pues el interno no contaría con una zona de incorporación segura, lo que generaría así un conflicto con el carril rápido del flujo principal. Estas situaciones deben ser analizadas desde el área de tránsito, para verificar que efectivamente se trate de dos movimientos de las características mencionadas, así como para evaluar y analizar los indicadores de operación, como por ejemplo las demoras en la incorporación (Véase Capítulo 3 – 6.6.2 Evaluación del Tránsito en corredores – Análisis Puntuales).

Finalmente, cabe mencionar que el caso de la Figura 12 puede ser común en la convergencia de rampas a vías arteriales o incluso en la convergencia de intermedias a secundarias y principales.

Por su parte la Figura 13 ilustra una configuración semejante a la del caso anterior, con la excepción de que no es del tipo que incluye carril adicionado, sino que en su defecto presenta una cuña de incorporación (tipo 3). Este tipo de configuración es factible cuando por disposición y geometría de los ramales, sea posible conectarlos mediante una curva circular cuya velocidad específica no difiera en más de 20 km/h a la del ramal principal. La cuña permite además de la transición de velocidades, una zona de protección que facilita la maniobra de incorporación con espejo. Este tipo de alternativa debe tener un tratamiento especial y meticuloso para garantizar la visibilidad y un correcto manejo de los peraltes (Véase numerales 4.2 y 4.3).

Al igual que en el caso de la Figura 12, la opción de la Figura 13 puede ser común en la convergencia de rampas a vías arteriales e incluso en la convergencia de intermedias a secundarias y principales. La cuña puede otorgar agilidad en el movimiento de convergencia, aunque para cada caso específico deberá realizarse una evaluación de los indicadores de operación desde el área de tránsito (Véase Capítulo 3 – 6.6.2 Evaluación del Tránsito en corredores – Análisis puntuales).

Figura 13. Convergencia tipo 1-3-6 con visibilidad restringida



Fuente: Elaboración propia.

Convergencia por la derecha

Corresponde al tipo más común y convencional. Puede presentarse a nivel o a desnivel, por conexión de accesos, convergencia de giros derechos canalizados a nivel o conexión con rampas de giros direccionales o semidireccionales. Convencionalmente para el tipo de convergencia por la derecha se asume que cuenta con carril de aceleración, como en el caso de la Figura 14; no obstante, si la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario no es mayor a 20 km/h, o la geometría favorece la configuración de una cuña y sobre todo no existe paso peatonal o de ciclousuarios en la zona, puede eliminarse el carril de aceleración como se muestra en la Figura 15.

Figura 14. Convergencia tipo 2-6-8



Fuente: Elaboración propia.

El caso de la Figura 14 corresponde a una convergencia por la derecha con carril de aceleración, relativa al Tipo 2, con 3 carriles antes de la convergencia (2 del flujo principal y 1 del ramal) y 2 después de la misma, es decir de Tipo 6, que además proviene del giro derecho canalizado de una intersección en trébol, admisible dentro del tipo 8. Por lo general en Arterias Complementarias e Intermedias que carecen de vías paralelas o de tránsito lento existen intersecciones (principalmente a desnivel) en las que los giros derechos canalizados exigen la incorporación de un carril de aceleración, bien sea por la diferencia de velocidades específicas de los ramales en la zona de convergencia, o porque los pasos peatonales sobre el ramal secundario obligan al conductor a frenar y por lo tanto se requiere de infraestructura especializada que le permita acelerar hasta la velocidad del flujo principal.

En corredores de mayor jerarquía, que exigen la disposición de calzadas de servicio o vías paralelas de tránsito lento, es posible eliminar los carriles de aceleración y dejar una configuración con cuña (tipo 3), como la que se aprecia en la Figura 15. En zonas de alto tránsito peatonal y con limitaciones de espacio público este tipo de configuración es igualmente aplicable, complementándola con medidas e infraestructuras que permitan calmar el tráfico en el ramal principal. En las convergencias por derecha sin carril de aceleración son típicas las conexiones de VAI y locales.

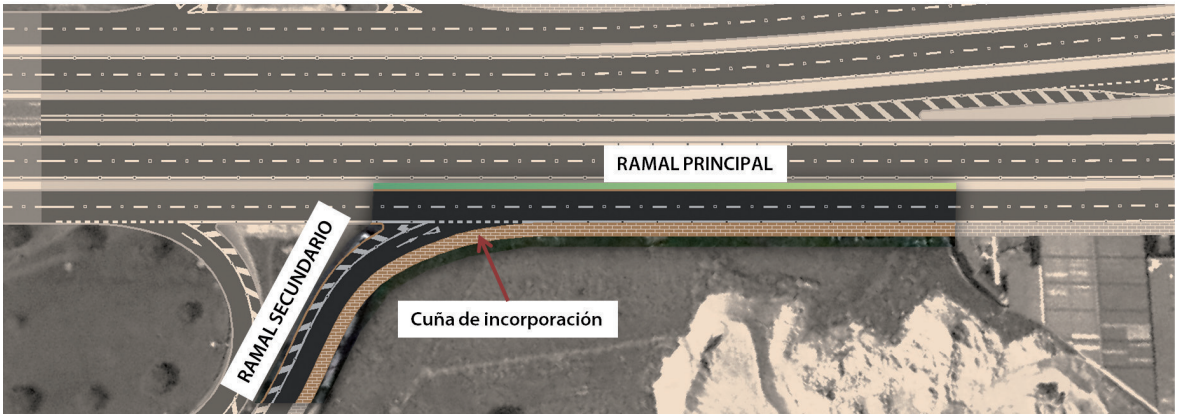
Convergencia con cuña de incorporación

Ésta se presenta cuando el carril de aceleración es reemplazado por un área de transición para la incorporación al flujo principal, la cual está compuesta geométricamente por una longitud dada y concatenaciones circulares con radios seleccionados en función de las velocidades. Por ejemplo, la Figura 15 aunque incluye las mismas condiciones de la Figura 14, es decir convergencia Tipo 2-6-8, presenta la variante de la mencionada cuña de incorporación (Tipo 3).

Este ejemplo alude a la convergencia del giro derecho canalizado de una intersección en trébol, en donde, como se verá en otros capítulos, es ideal que se incluya una calzada adicional en la que se puedan realizar las maniobras de convergencia, divergencia y entrecruzamiento de giros derechos y orejas de una forma segura y sin afectar las condiciones de operación de los flujos principales. Así como se trata de una calzada de tránsito lento los movimientos convergentes y divergentes podrán ser del Tipo 3, siempre y cuando la configuración de la cuña permita una incorporación en condiciones de visibilidad y sin que las trayectorias vehiculares invadan los carriles adyacentes (Véase Capítulo 2 – 3.1 Vehículo de Diseño).

Figura 15. Convergencia tipo 2-3-6-8

Convergencia por la derecha (giro derecho canalizado trébol)
Cuña de incorporación a vía paralela
Convergencia con más carriles de entrada que de salida



Fuente: Elaboración propia.

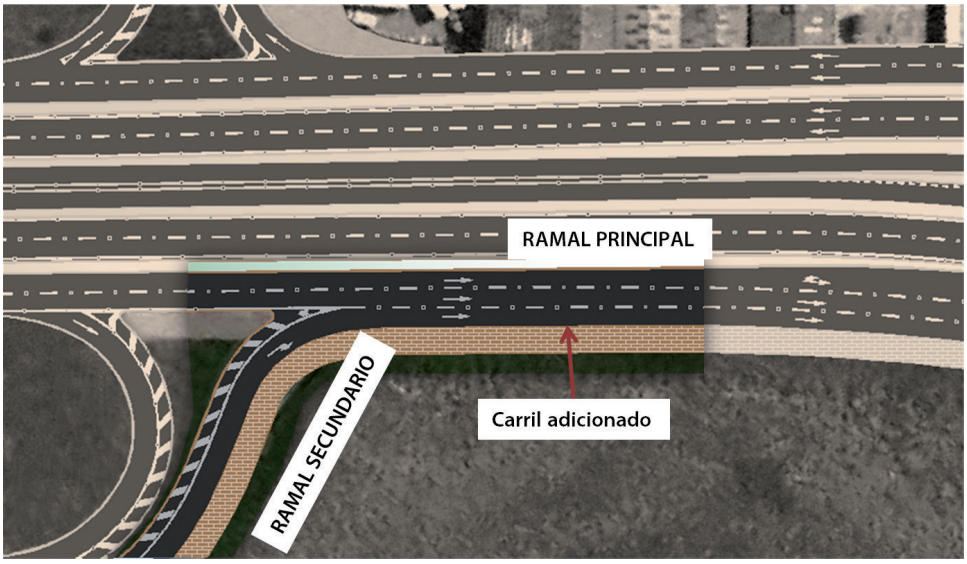
Convergencia con adición de carril

Este tipo de canalización es ideal para mejorar la capacidad de la vía principal sin que se genere turbulencia en el momento de la incorporación. Cuando este tipo se combina con el tipo 5, es decir que la cantidad de carriles antes de la zona de convergencia sea igual a la cantidad de carriles después de la misma, el impacto en la capacidad de los ramales es nulo, situación que sería ideal cuándo ambos ramales tengan tránsitos semejantes o cuando las demandas del ramal convergente son considerablemente altas y las brechas para la incorporación al flujo principal sean mínimas, situación típica en casos como el de la Figura 16. La necesidad de incorporación de carriles adicionados debería ser producto de las recomendaciones de tránsito (Véase Capítulo 3 – 6.6.2 Evaluación del Tránsito en Corredores – Análisis Puntuales y del diagnóstico predial y de espacio público).

De la misma manera, cuando existan convergencias sucesivas y los carriles de aceleración de éstas se traslapen entre sí, se requerirá de un carril adicionado si la situación se presenta en una vía arterial principal o complementaria, o cuando se trate de una calzada intermedia aislada por separadores y en la que no exista estacionamiento. Si no se cumplen estas condiciones y por ejemplo el carril adicionado fuera adyacente al espacio público de circulación peatonal, se motivaría el estacionamiento de automóviles y la funcionalidad del carril adicionado se vería afectada. En esta última situación se debe contemplar pues en lugar de adicionar un carril se debe resolver con una vía de servicio.

Figura 16. Convergencia tipo 2-4-5-8

Convergencia por la derecha (giro derecho canalizado trébol)
Carril adicionado
Igual cantidad de carriles antes y después de la convergencia

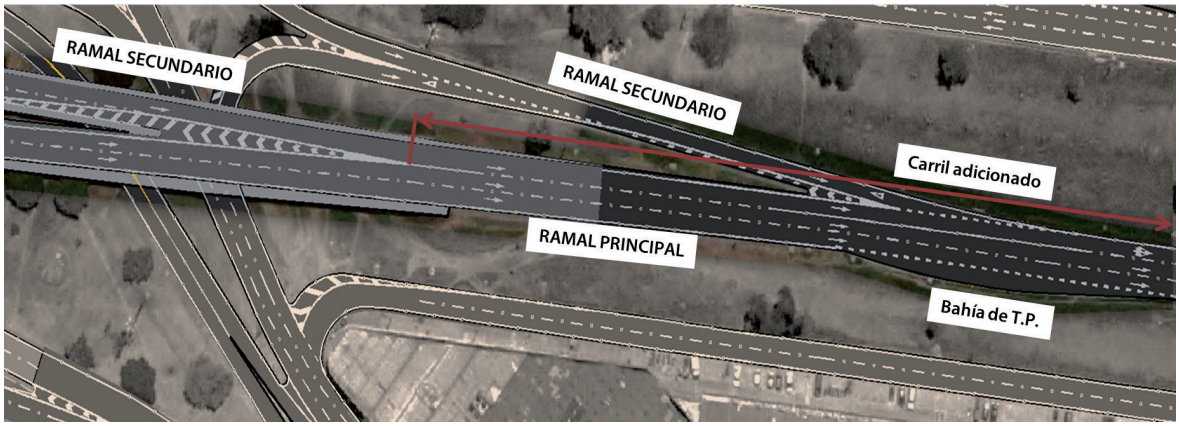


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra un caso de convergencias sucesivas por la izquierda (Tipo 1) y con carril adicionado (Tipo 4).

Figura 17. Convergencias sucesivas tipo 1-4

Convergencia sucesivas por la izquierda
Carril adicionado
Bahía de transporte público con localización inconveniente



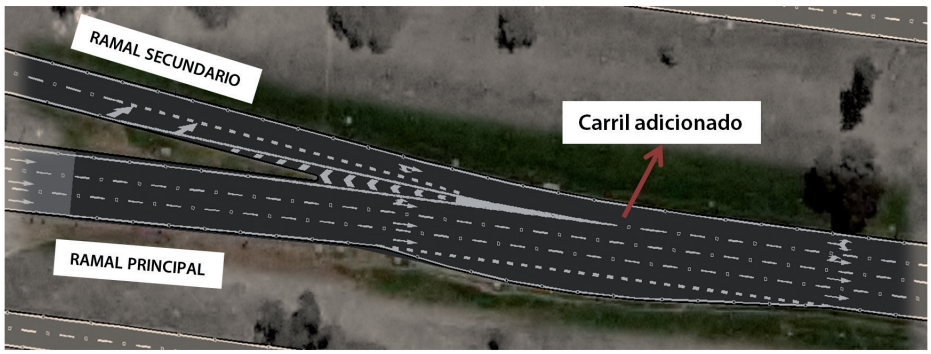
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 17 cabe resaltar la inconveniencia de ubicar las zonas de ascenso y descenso de pasajeros en zonas adyacentes a las convergencias, pues incitan cruces sesgados por parte de los vehículos de transporte público que accediendo desde un ramal secundario requieren alcanzar una bahía atravesando completamente la calzada principal (Véase sección 3.2.5 Entrecruzamiento).

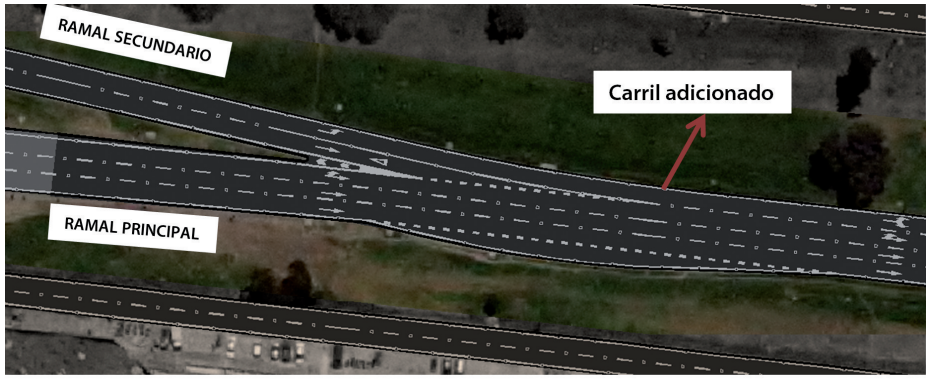
Cuando el ramal que accede a la convergencia tiene dos carriles o más, estos deben ser canalizados para que en el acceso no exista competencia por el espacio. Si se trata de una convergencia con carril adicionado debería hacerse de alguna de las formas indicadas a continuación:

Figura 18. Canalizaciones en convergencias que incluyen el tipo 4-6

Convergencia por la izquierda
Convergencia con carril adicionado
Convergencia con más carriles de entrada que de salida



a. Finalización del carril izquierdo del ramal secundario – canalización antes de la convergencia



b. Continuidad de los dos carriles del ramal secundario – cede el paso el carril izquierdo – canalización en la zona de convergencia



c. Continuidad de los dos carriles del ramal secundario – cede el paso el carril izquierdo – canalización en la zona de convergencia

Fuente: Elaboración propia.

La selección de la alternativa a, b o c dependerá fundamentalmente del análisis de tránsito y de la canalización de los flujos peatonales que cruzan el ramal secundario, en caso de que existan. Cabe aclarar, sin embargo, que entre las condiciones b y c, por recomendaciones de seguridad vial, se considera preferible que la acción de ceda el paso sea realizada por el carril más externo, para que el carril interno no converja sin zona de aceleración al flujo principal. Por tanto, la opción b es aceptable solo si la cuña de conexión favorece la transición de velocidades; además deberá acompañarse con señalización clara, oportuna, visible y pertinente.

Convergencia de ramales con la misma cantidad de carriles de entrada que de salida

Que la cantidad de carriles antes de la convergencia sea igual a la que se presenta después de ésta, es una situación ideal en términos de capacidad, que no representa ningún problema en cuanto a seguridad ni operación (Figura 19). Generalmente esta tipología atiende a la convergencia de dos ramales de la misma importancia (tráficos semejantes). Se encuentran por lo general en la unión de tramos de Arterias Convencionales (VAC) con Vías Rápidas Urbanas (VRU) o en Autopistas Urbanas (AU). La geometría de este tipo de convergencia está condicionada por los alineamientos de los ramales, los cuales incluso después de la convergencia continúan con ejes independientes, especialmente cuando se trata de una sección de 4 carriles o más como en el caso de la imagen (converger a un solo eje podría generar dificultades en el tratamiento de los peraltes).

Figura 19. Convergencia tipo 5

Igual cantidad de carriles antes y después de la convergencia



Fuente: Elaboración propia.

Convergencia de ramales con más carriles de entrada que de salida

En contraposición al caso anterior, esta situación, de no ser canalizada de forma oportuna, clara y segura, representa una situación de inseguridad vial debido a que los carriles que convergen compiten por el espacio en la zona de la intersección. El tratamiento geométrico y de señalización debe limitar uno de los carriles sobrantes para que converja un solo carril bien sea mediante cuña o carril de aceleración.

Figura 20. Convergencia tipo 2-3-6 Tratamientos recomendados y situaciones de peligro

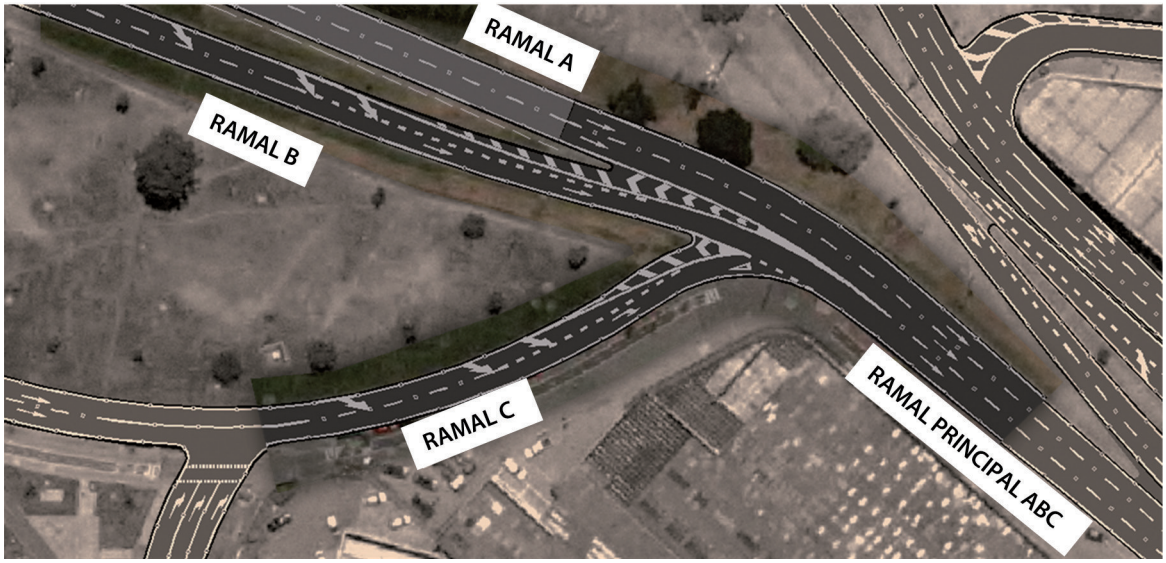


Fuente: Elaboración propia.

Esta situación suele presentarse también en áreas de convergencia múltiples, las cuales deberían ser evitadas por el diseñador, especialmente si la cantidad de carriles antes de la convergencia es mayor a la cantidad dispuesta después de la misma. Lo anterior en razón a que se generan zonas de abocinamiento o cuellos de botella, en los cuales además de disminuirse la capacidad vehicular, se incrementa la exposición a eventos de colisión. Situaciones como la de la Figura 21 son comunes en las VAC y VRU, sin embargo deben evitarse al máximo. A pesar de que los seis flujos antes de la convergencia se están canalizando con antelación para evitar turbulencias y convertirse progresivamente en tres, la situación no deja de representar una condición de peligrosidad, que en ausencia de demarcación constituiría un riesgo de accidentalidad alto, dada la inexistente priorización de movimientos.

Figura 21. Zona de convergencia múltiple tipo 6

6 Carriles antes de la convergencia y 3 después de la misma

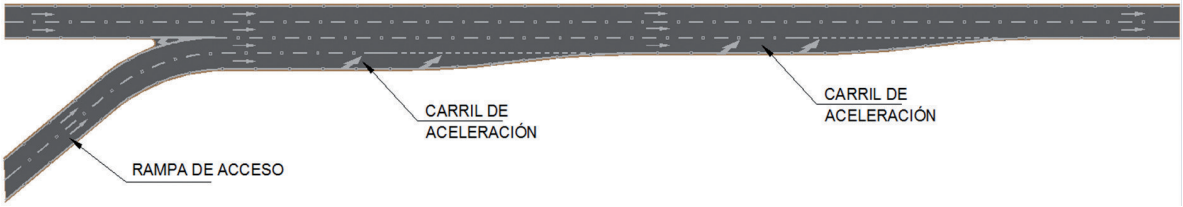


Fuente: Elaboración propia.

Convergencia con carriles escalonados

Otra alternativa para canalizar la convergencia de un ramal de dos carriles a un ramal principal, es diseñar carriles escalonados. Esta alternativa asegura que los conductores de cada carril alcancen progresivamente la velocidad de la vía principal y se minimice el fenómeno de turbulencia en la convergencia, sin necesidad de ser canalizados a un solo carril con antelación. En este sentido, esta opción ofrece mayor capacidad que si se dispusiera de un único carril de aceleración; no obstante, presenta varios problemas en relación con el mayor espacio que requiere, así como inconvenientes con el manejo del tráfico peatonal y la continuidad del mismo, dificultades con la ubicación de paraderos y complicaciones de manejo arquitectónico en cuanto a la forma de los andenes. En consecuencia, este tipo de alternativa no es común en zonas urbanas pero podría usarse en proyectos de AU y en zonas que preferiblemente no presenten tráfico peatonal adyacente.

Figura 22. Convergencia con rampa de dos carriles con carriles de aceleración consecutivos



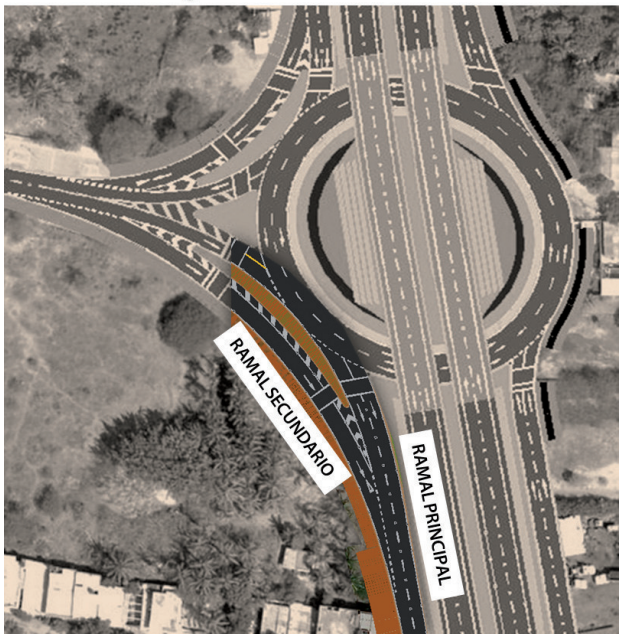
Fuente: Elaboración propia.

Convergencias de giros canalizados

Una de las formas de mejorar el rendimiento de intersecciones semaforizadas o tipo glorieta es construyendo ramales de giro directo a la derecha, que unen o enlazan una entrada con la siguiente salida, a la cual por lo general se incorporan los vehículos mediante una maniobra de ceda el paso. Estos giros evitan el paso por la calzada anular, o por la zona antibloqueo de un cruce semaforizado, según corresponda, y por tanto permiten el descongestionamiento de la intersección. Es así como el análisis de las demandas aforadas y proyectadas será fundamental para revisar el funcionamiento de estas infraestructuras pues en este caso la longitud de cuñas o carriles de incorporación (o acumulación), no depende solamente de la transición de velocidades, sino de la necesidad de albergar una cola de vehículos en espera, sin bloquear los demás flujos de la intersección.

Figura 23. Convergencia tipo 2-3-6-8 en glorieta

Convergencia derecha
Convergencia de giro derecho canalizado (glorieta)
Convergencia con cuña



Fuente: Elaboración propia.

Por lo general, las convergencias de giros derechos canalizados, como el presentado en la Figura 23 son del tipo 3, es decir con cuña. Esto se debe a que la conexión se realiza comúnmente a una calzada paralela, o a un ramal de salida de la glorieta o del cruce semaforizado, es decir a zonas de velocidades menores a 40 km/h y, por lo tanto, para la transición de velocidades es suficiente con la selección de un radio acorde con esta velocidad.

No obstante, en casos en los que la velocidad del ramal del giro derecho canalizado y la del ramal principal difieran en más de 20 km/h será necesario disponer cuñas de radios mayores, o incluso carriles de aceleración, especialmente cuando se disponen cruces peatonales y de ciclistas que obligan a reducir la velocidad hasta llegar a 0 km/h para permitir el flujo seguro

y cómodo de los peatones y ciclistas para luego volver a acelerar hasta alcanzar una velocidad cercana a la que lleva la corriente vehicular del flujo principal, razón por la cual el uso de los carriles de aceleración es indispensable.

Convergencias desde retornos

Generalmente las convergencias desde retornos en vías principales y complementarias se diseñan con carriles de incorporación en función de la transición de velocidades. En vías intermedias pueden manejarse con cuñas de incorporación o semaforizado, en función del análisis de tránsito y el espacio disponible. Un ejemplo de convergencia desde retorno puede apreciarse en la Figura 24, la cual hace referencia a vías VAC.

Figura 24. Convergencia tipo 9



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Manejo de conflictos con vehículos, peatones y ciclousuarios en convergencias

Es importante aclarar que los esquemas y las definiciones mencionadas anteriormente se realizaron como esquemas básicos de diseño geométrico para abordar los movimientos de los vehículos en convergencias. Sin embargo, dado el análisis integral de esta guía, cuyo enfoque está dirigido a la realización de un diseño urbano que integre todas las variables que intervienen en el mismo, el tema del manejo peatonal y de ciclousuarios es fundamental para garantizar la seguridad de todos los actores que conforman la estructura urbana.

Es así como el diseño de bifurcaciones (convergencias y divergencias) se verá afectado directamente por la presencia de estos actores, originando nuevas condiciones y consideraciones que deben ser tenidas en cuenta en cualquier diseño urbano con el objetivo de garantizar su seguridad, comodidad, conectividad además de la integración al diseño geométrico urbano realizado.

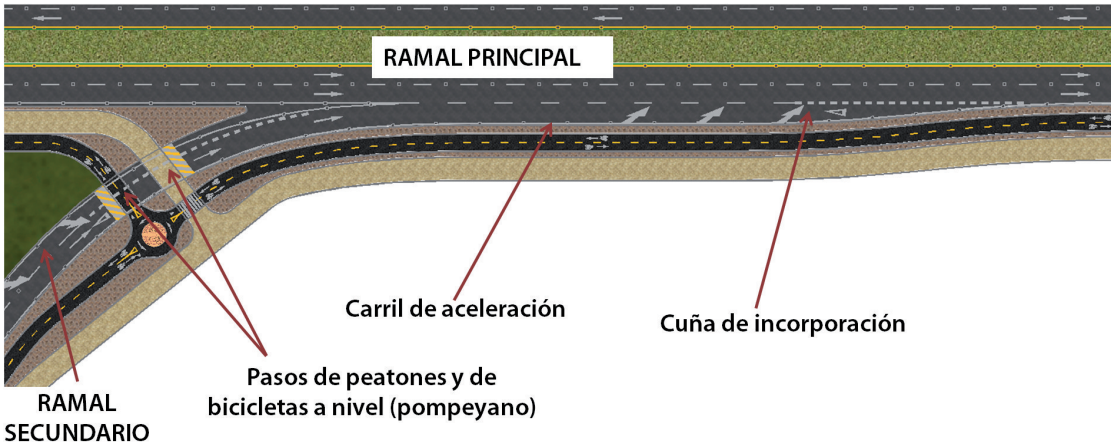
RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO PEATONAL Y DE CICLOUSUARIOS EN BIFURCACIONES

- **En intersecciones urbanas se debe tener en cuenta las zonas destinadas para los pasos peatonales y de ciclistas debido a que éstas condicionarán los largos de los carriles de aceleración y desaceleración. Estos pasos obligan a que los vehículos se detengan totalmente para permitir el paso seguro y cómodo de los peatones y ciclistas y por ende la velocidad de arranque inicial que se utiliza en el dimensionamiento de un carril de aceleración será igual a 0 km/h.**
- **La importancia del peatón en zonas urbanas hace que el análisis del diseño geométrico trascienda más allá de la selección de un valor de longitud del carril de aceleración y desaceleración, para ser corroborado con un análisis exhaustivo de tránsito conjuntamente con los análisis de espacio público que se diseñan en la intersección.**
- **En el proceso de desarrollo de las modelaciones de tránsito se puede estimar que una convergencia no funcione, por ejemplo por la interacción con peatones y las consiguientes colas generadas teniendo efecto en las decisiones de modificar o descartar una solución propuesta.**
- **La seguridad vial debe ir enfocada no solamente a los conflictos vehículo-vehículo, sino también a los conflictos vehículos-peatón y vehículo-ciclousuarios.**

En la Figura 25 se observa el manejo peatonal que debe tenerse en cuenta en convergencias urbanas; en ella se aprecia cómo el vehículo que viene a través del ramal secundario, debe detenerse para dar paso al peatón y al ciclistas los cuales pasan a través del pompeyano. Una vez el vehículo ha pasado la zona destinada para el paso peatonal y de ciclistas, debe acelerar hasta alcanzar una velocidad similar a la desarrollada por los vehículos que viajan por el ramal principal. Esta condición hace que los carriles de aceleración en convergencias urbanas con pasos peatonales siempre sean más largos que los desarrollados en zonas donde no se registra el paso de peatones.

Figura 25. Convergencia tipo 2-6-8

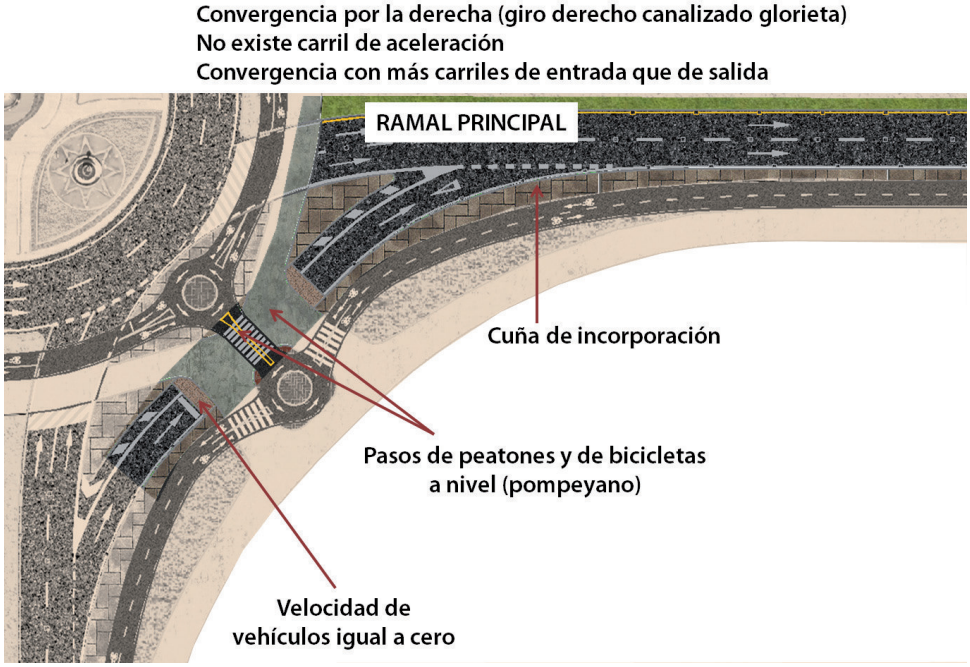
Convergencia por la derecha (giro derecho canalizado trébol)
Carril de aceleración
Convergencia con más carriles de entrada que de salida



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

En la Figura 26 se observa una convergencia en la salida de un giro canalizado derecho de una glorieta, en esta situación los vehículos que salen de la glorieta lo están haciendo con velocidades menores a 30 km/h razón por la cual el vehículo que sale del giro derecho y que ha reducido su velocidad para permitir el paso peatonal a través del pompeyano, puede desarrollar una velocidad cercana a la que se registra en la calzada de incorporación, sin tener que necesitar un carril de aceleración para lograrlo.

Figura 26. Convergencia tipo 2-3-6-8



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

3.2.3 Divergencias

DIVERGENCIA

Proceso que consiste en la disgregación de una corriente vehicular en corrientes independientes, o simplemente la separación de un vehículo de una corriente principal.

Teóricamente, las divergencias están conformadas por una rampa de salida que proviene desde el flujo principal, un carril de desaceleración y una longitud de transición, comúnmente conformada como una cuña. Es importante mencionar que el carril de desaceleración se requiere siempre que la velocidad específica del flujo divergente (determinada por el radio de la salida) difiera en más de 20 km/h respecto al flujo principal.

La configuración geométrica de la transición debe permitir una incorporación segura sin que se requiera una disminución drástica de la velocidad, posteriormente el carril deberá contar con una longitud tal que se logre disminuir la velocidad hasta una cercana a la del ramal divergente. No obstante, en ámbitos urbanos es común encontrar divergencias sin carril de desaceleración especialmente en zonas con poco espacio disponible o en vías intermedias y locales donde el manejo de velocidad no lo exige. Para los casos en los que se requiere la incorporación del carril pero el espacio, el tráfico peatonal o la geometría lo condicionan, deben proyectarse medidas alternas que mitiguen las falencias de seguridad vial derivadas de esta condición, como incorporación de cuñas u otros tratamientos que se describirán más adelante.



- **El carril de desaceleración se requiere siempre que la velocidad específica del flujo divergente sea al menos 20 km/h menor que el flujo principal.**
- **Independientemente del radio en la salida, siempre que exista paso peatonal la velocidad específica del ramal divergente en la zona de conexión será 0 km/h, requiriendo la incorporación de un carril de desaceleración que deberá satisfacer estas condiciones.**
- **La geometría de la cuña permite una transición hacia el carril de desaceleración a la misma velocidad a la cual circulan los vehículos en la calzada principal.**
- **La longitud del carril de desaceleración debe permitir una reducción de velocidad segura desde la propia del flujo principal, hasta una velocidad cercana a la del ramal divergente o a una velocidad de cero en el caso de la existencia de pasos peatonales en la zona.**
- **Deberán realizarse las canalizaciones necesarias para que el carril de desaceleración diverge hacia un único carril en el ramal de salida con el objetivo de eliminar turbulencias y garantizar la seguridad vial en la bifurcación.**

A continuación se presentan algunos esquemas conceptuales con las geometrías más comunes en relación con estas zonas de conflicto. Véase recomendaciones geométricas detalladas en el Capítulo 3.

Divergencia aislada: en este tipo de divergencias, el movimiento se realiza mediante un ramal de incorporación sin otros adyacentes que influyan sobre su propio funcionamiento y son poco frecuentes en vías urbanas especialmente en zonas altamente densificadas donde se permiten los ingresos y salidas a las vías principales con el fin de garantizar conectividad. De acuerdo con lo anterior estas intersecciones solo se pueden presentar en áreas suburbanas y rurales, o para el desarrollo futuro de autopistas urbanas.

Figura 27. Divergencias aisladas



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se observa un esquema netamente vial para explicar los componentes principales de una divergencia convencional. No obstante, debido a múltiples factores como el espacio público, los senderos peatonales, las ciclorrutas, la línea de paramentos, la altimetría, la función de la vía, se pueden generar diferentes configuraciones, tales como:

Tipo 1- Divergencias por la izquierda: son aquellas en las que el movimiento divergente se separa por el lado izquierdo de la calzada principal de circulación. Es importante anotar que sí la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario es mayor a 20 Km/h este tipo de divergencias debe incluir un carril de desaceleración.

Tipo 2- Divergencias por la derecha: en este tipo de configuración, la separación del movimiento divergente del movimiento principal sucede por la derecha. Al igual que la configuración anterior, se debe tener en cuenta la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario, ya que si ésta es mayor a 20 km/h, se debe incorporar un carril de desaceleración.

Tipo 3- Divergencias con cuña de incorporación: no incluye carril de desaceleración sino un área de transición para la incorporación al flujo secundario y para la transición segura de velocidades. Geométricamente se componen de una longitud recomendada y concatenaciones circulares con radios seleccionados en función de las velocidades.

Tipo 4- Divergencias con supresión de carril: se presenta cuando uno de los carriles del flujo principal se suprime a partir del inicio de la divergencia, volviendo este carril exclusivo solo para el movimiento divergente.

Tipo 5- Divergencias de tramos viales con la misma cantidad de carriles de entrada que de salida: sucede cuando los carriles antes de la divergencia son los mismos que después de ésta.

Tipo 6- Divergencias de tramos viales con más carriles de salida que entrada: se caracteriza por que la cantidad de carriles antes de la divergencia, es menor a la suma de los carriles que se encuentran en los ramales después de la divergencia

Tipo 7- Divergencias con carriles escalonados: ocurre cuando de una vía principal diverge una vía con dos carriles y cada uno cuenta con un carril de desaceleración.

Tipo 8- Divergencias para giros canalizados: son aquellas que permiten un movimiento de giro izquierdo o derecho canalizado a nivel.

Tipo 9- Divergencias para retornos: este tipo de divergencias, permiten la incorporación al retorno desde una calzada adyacente.

Las divergencias descritas se pueden presentar mezclados entre sí, lo que genera diferentes configuraciones geométricas, como se ejemplificará más adelante.

Divergencias Adyacentes

Este tipo de configuración se presenta cuando dos ramales divergentes o más, son tan cercanos que sus funcionamientos se ven afectados entre sí. No obstante, las divergencias adyacentes son muy frecuentes en el ámbito urbano, debido a la configuración de la red vial (tipo retícula) y a la falta de control en los accesos de las vías arteriales. Por esta razón las divergencias adyacentes se presentan principalmente en las vías colectoras de la ciudad las cuales debido a su función principal que consiste en recolectar y distribuir flujos a lo largo de su recorrido, presentan múltiples convergencias y divergencias en su geometría. De acuerdo con lo anterior es importante recalcar que este tipo de divergencias se debe evitar en el diseño de las AU al igual que en las VRU, y aunque actualmente se presenten en las VAC se deben minimizar sus impactos negativos. Por último, cabe mencionar que los nueve tipos de divergencias presentados, se describirán básicamente bajo el concepto de carácter adyacente que se presenta en las divergencias a nivel urbano, más específicamente para el caso de la ciudad de Bogotá.

Divergencias por la izquierda

Son comunes en la divergencia de giros direccionales y semidireccionales, también se pueden presentar en retornos e intercambiadores de calzada[2]. Pueden presentarse a nivel, protegidas por un separador central cuando se trata de vías de dos calzadas o más, o hacia un acceso convencional cuando se trata de vías de un solo sentido de flujo. También se presentan a desnivel cuando la vía principal se divide en dos vías las cuales cuentan con rasantes de elevaciones similares, o cuando del movimiento principal diverge un ramal que sirve a la conexión de dos niveles diferentes (rampas).

Las divergencias por la izquierda son más exigentes que si se realizaran por el carril derecho, en tanto se desprenden del carril de tránsito rápido y en consecuencia requieren carriles de desaceleración mayores si la diferencia entre las velocidades específicas de la calzada principal y el ramal son mayores a 20 km/h o cuñas de incorporación con radios circulares favorables a la

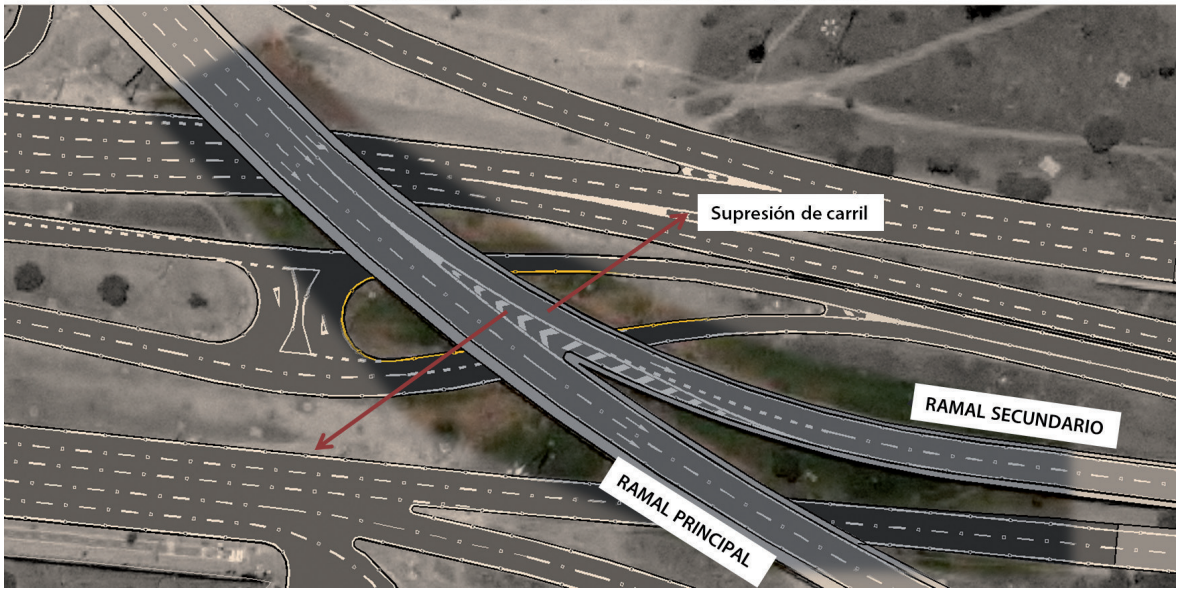
2. El tema de intercambiadores de calzada se trató individualmente en el Capítulo 3.

transición de velocidades. Además de la geometría en planta es indispensable que este tipo de divergencias cuente con un tratamiento meticuloso en términos de visibilidad de los elementos de la divergencia y un correcto manejo de los peraltes (Véase numeral 4. Consideraciones para el diseño de bifurcaciones)

A continuación se presenta un ejemplo de divergencia por la izquierda (Tipo 1), proveniente de una rampa de giro direccional, que se realiza en una zona a desnivel y coincide con una curva vertical convexa. Simultáneamente puede catalogarse en el tipo 4, pues se suprime uno de los carriles del flujo principal para que a partir de éste y sin maniobras adicionales inicie el ramal divergente. Así mismo, este ejemplo también puede agruparse dentro del tipo 6, en el cual antes de la divergencia se presentan menos carriles que después de la misma.

Figura 28. Divergencia tipo 1-4-6 elevada, con curva vertical convexa

Divergencia por la izquierda (rampa giro direccional)
Divergencia con supresión de carril
Divergencia en curva vertical convexa
Divergencia con más carriles en la salida que en la entrada



Fuente: Elaboración propia.

En esta divergencia se observa que el carril externo izquierdo del flujo principal se desvía ("Suprime") para tomar el ramal secundario. No obstante, este hecho mitiga los inconvenientes derivados de la transición de velocidades, y las problemáticas de visibilidad. Es importante señalar que en ningún caso se permita que los vehículos cambien su decisión de destino en cercanías de la nariz, pues ello generaría una condición de turbulencia que afectaría la capacidad e implicaría una mayor exposición a la accidentalidad. Por lo tanto, la señalización es fundamental para informar correctamente sobre el uso de cada uno de los carriles desde mucho antes de la divergencia; señales informativas y confirmativas visibles y oportunas, complementados con tachones, valizas (u otros elementos según conveniencia por seguridad vial) que canalicen los flujos, serán necesarios.

Una ventaja adicional de suprimir un carril en la divergencia redunda en un aumento de la capacidad del movimiento direccional y en la posibilidad de generar una zona en la que se puede transicionar el peralte o bombeo desde la calzada principal, a cada uno de los ramales sin ningún inconveniente (Véase numeral 4.2. Consideraciones para el Manejo de Peraltes).

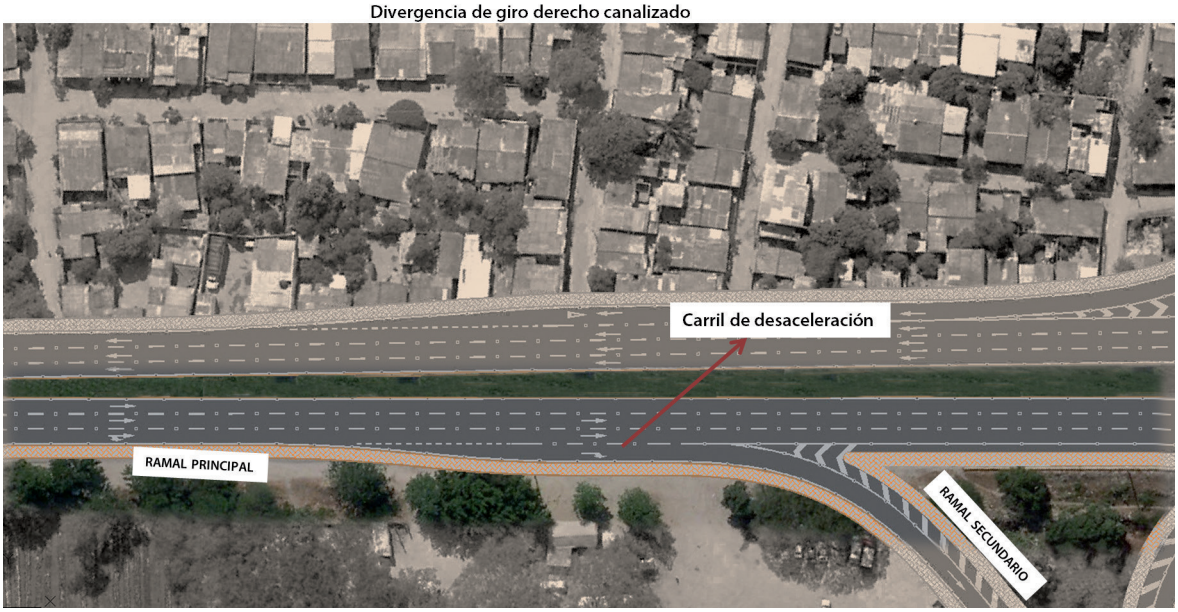
Finalmente cabe mencionar que el caso de la Figura 28 puede ser común en la divergencia de vías arteriales a rampas de salida o incluso en la divergencia de vías principales a vías arteriales secundarias.

Divergencia por la derecha

Este es el tipo más común y convencional de divergencias. Puede presentarse a nivel o a desnivel, para conexión de accesos, para giros derechos canalizados a nivel o para la conexión con rampas de giros direccionales o semidireccionales. Convencionalmente para este tipo de divergencias se asume que cuenta con carril de desaceleración, como en el caso de la Figura 29; no obstante, sí la diferencia de velocidades entre el ramal principal y el secundario no es mayor a 20 km/h, o la geometría favorece la configuración de una cuña, puede eliminarse el carril de desaceleración como se muestra en la Figura 30.

Figura 29. Divergencia tipo 2-6-8 a nivel

Divergencia por la derecha
Divergencia con carril de desaceleración
Divergencia con más carriles de salida que de entrada
Divergencia de giro derecho canalizado



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se observa una divergencia por la derecha (tipo 2) con carril de desaceleración, con tres carriles antes de la divergencia y cuatro después de la misma, descripción que corresponde al Tipo 6; además se observa cómo la divergencia da origen a un giro derecho canalizado (Tipo 8) de una intersección tipo trébol.

Por lo general en Arterias Complementarias e Intermedias que carecen de vías paralelas o de tránsito lento existen intersecciones (principalmente a desnivel) en las que los giros derechos canalizados exigen la incorporación de un carril de desaceleración, bien sea por la diferencia de velocidades específicas de los ramales en la zona de divergencia, o porque los pasos peatonales sobre el ramal secundario obligan al conductor a frenar y por lo tanto se requiere de infraestructura especializada que le permita disminuir su velocidad hasta alcanzar la velocidad del ramal.

En corredores de mayor jerarquía, que exigen la disposición de calzadas de servicio o vías paralelas de tránsito lento, es posible eliminar los carriles de desaceleración y dejar una configuración con cuña de incorporación (tipo 3), como la que se aprecia en la Figura 30. En zonas de tránsito peatonal y con limitaciones de espacio público, este tipo de configuración es igualmente aplicable, complementándola con medidas e infraestructuras que permitan calmar el tráfico en la calzada principal. Las divergencias por la derecha sin carril de desaceleración también son típicas en las conexiones de arteriales intermedias y locales donde no se presenten pasos peatonales.

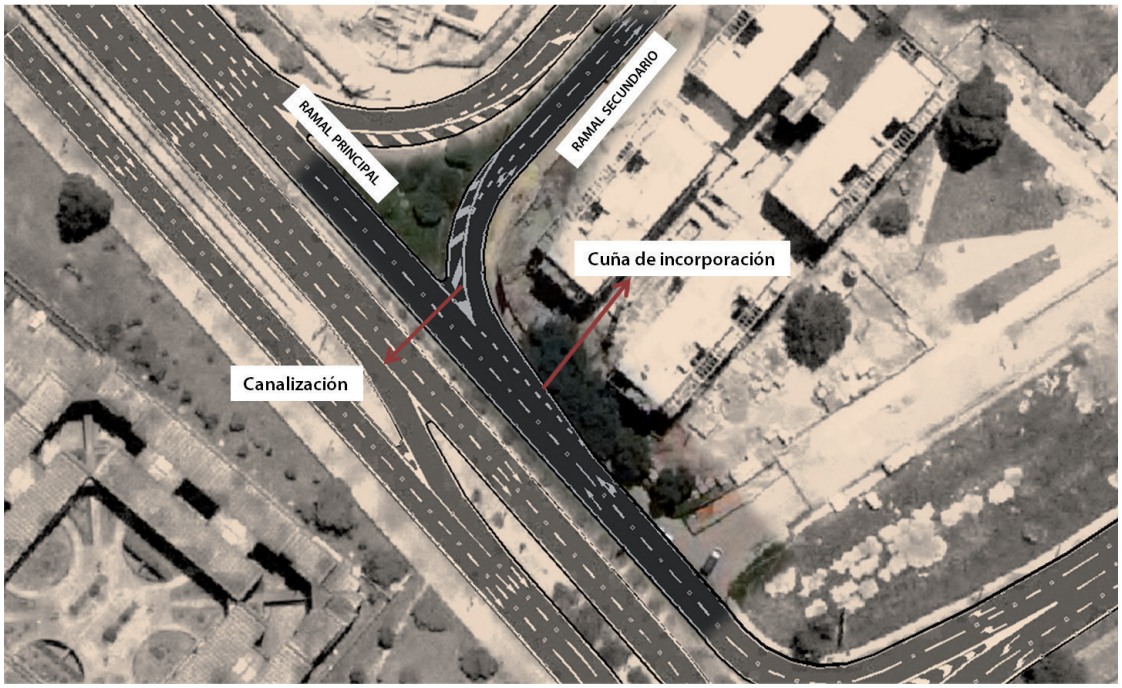
Divergencia con cuña de incorporación

Las divergencias con cuña de incorporación se presentan cuando el carril de desaceleración es reemplazado por un área de transición que garantiza la incorporación desde flujo principal hacia el ramal secundario. Ésta, debe estar compuesta geométricamente por una longitud dada y concatenaciones circulares con radios seleccionados en función de las velocidades.

En la Figura 30 se observa un ejemplo claro de una divergencia con cuña por la derecha con una configuración semejante a la observada en la Figura 29, diferenciándose precisamente en la forma de incorporación al ramal secundario, la cual se realiza con una cuña de incorporación en vez de un carril de desaceleración; esto debido a que los cambios de velocidades del ramal principal con respecto al ramal secundario, no son mayores a 20 km/h, porque el radio de la cuña puede permitir una transición segura entre tales velocidades y porque no se presentan flujos peatonales que afecten el paso vehicular.

Figura 30. Divergencia tipo 2-3-6-8 a nivel

Divergencia con cuña de incorporación
Divergencia por la derecha
Divergencia giro derecho canalizado intersección tipo trébol
Divergencia con más carriles de salida que de entrada



Fuente: Elaboración propia.

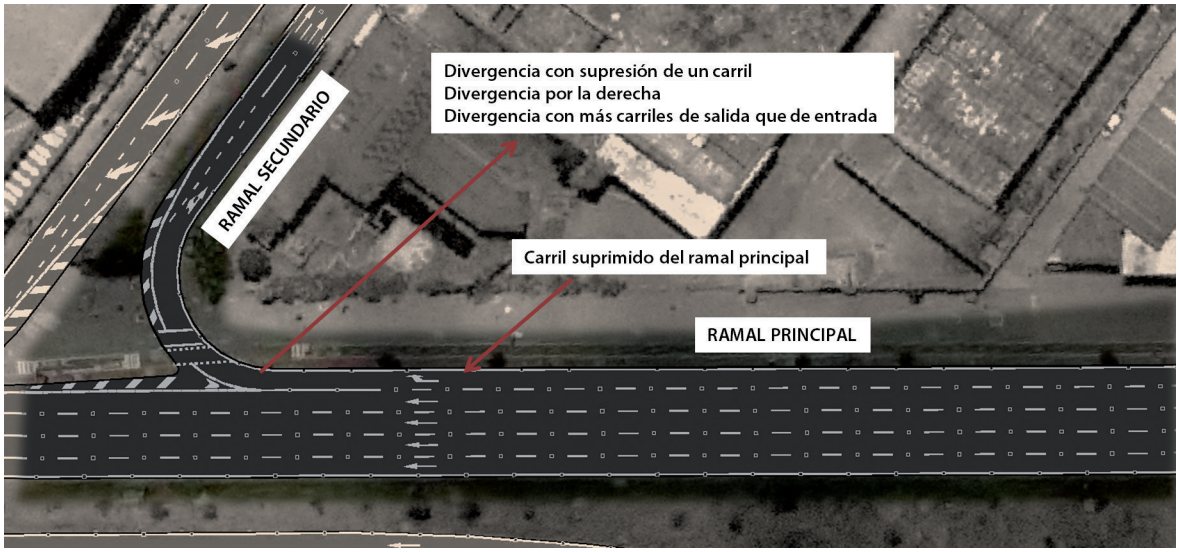
Divergencia con supresión de carril

En este tipo de divergencias uno de los carriles externos del flujo principal, cambia de dirección para dar origen a un ramal. Esta "supresión" del carril externo, del flujo principal, origina turbulencias sobre los carriles adyacentes debido a los cambios de carril entre los vehículos que desean seguir a través del ramal principal y van por el carril externo y los vehículos que circulan por el carril adyacente a éste y deseen tomar el ramal generado. Para minimizar la situación, las divergencias de este tipo deben ir acompañadas de una señalización horizontal y vertical oportuna que permita guiar a los conductores en la toma de decisiones seguras desde mucho antes del inicio de la canalización de la divergencia.

En la Figura 31 se puede apreciar una divergencia por la derecha con supresión de un carril al ramal principal el cual da continuidad al ramal secundario; se debe tener cuidado con la presencia de bocacalles o convergencias cercanas a la divergencia ya que originaría entrecruzamientos que son problemáticos en vías arteriales complementarias y secundarias (Véase numeral 3.2.5. Entrecruzamientos). También es muy importante evaluar el impacto que tiene la supresión del carril al flujo principal, pues al suprimir un carril de la vía principal se puede estar impactando directamente en la capacidad de ramal principal (Véase Capítulo 3-Sección 6.2 Evaluación del tránsito en corredores-Análisis puntual).

Debe considerarse que en una vía arterial, complementaria o en una calzada intermedia aislada por separadores se debe generar un carril adicional en caso de la existencia de divergencias sucesivas con carriles de desaceleración que se traslapan entre sí, siempre y cuando en las zonas urbanas aledañas no existan centros generadores o atractores de tráfico que puedan causar maniobras de estacionamiento, pues esto causaría una afectación a la funcionalidad del carril adicional. Sin embargo, si éste fuera el caso y estas divergencias se encontraran en zonas urbanas donde se motive el estacionamiento de automóviles, o incluyera un carril adicionado previamente que fuera adyacente a un espacio público de circulación peatonal, se debe contemplar una vía de servicio en vez del carril adicional.

Figura 31. Divergencia tipo 2-4-6-8 a nivel



Fuente: Elaboración propia.

Divergencia de ramales con la misma cantidad de carriles de entrada que de salida

Estas divergencias presentan la misma cantidad de carriles antes y después de la misma siendo ideales en términos de capacidad y seguridad, ya que se minimizan los riesgos operacionales de la divergencia y se minimiza el número de cambios de carril que deben hacer los conductores para tomar cualquiera de los ramales. Sin embargo, para que esto se cumpla, este tipo de divergencias deben estar acompañadas de una señalización que informe a los vehículos con anticipación de la existencia de la bifurcación y los destinos a que los llevará cada carril con el fin de que puedan tomar una decisión segura que oriente el cambio de carril y evite movimientos bruscos en cercanía de la nariz. Véase Figura 32. Generalmente esta tipología atiende a la divergencia de dos ramales de la misma importancia (tráficos semejantes) y se encuentran en separación de tramos de Vías Rápidas Urbanas (VRU) o Autopistas Urbanas (AU) en Arterias Convencionales (VAC) o Arterias Secundarias (VAS).

Figura 32. Divergencia tipo 5

Igual cantidad de carriles antes y después de la convergencia



Fuente: Elaboración propia.

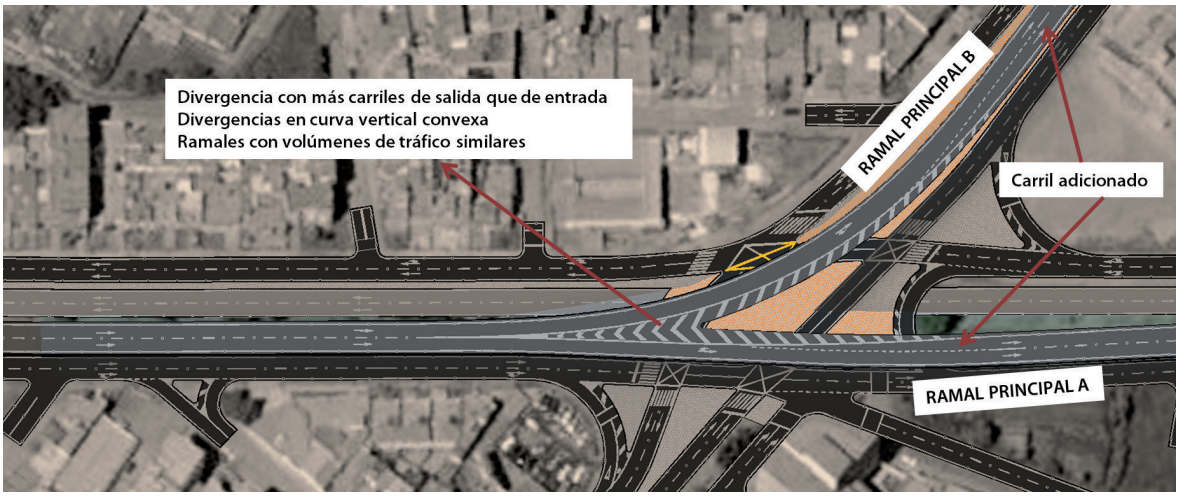
Divergencia con más carriles de salida que de entrada

Se caracterizan porque la suma de carriles después de la divergencia es mayor a los carriles de la vía antes de que ocurra la divergencia, esta situación permite una operación ideal en los vehículos pues se aumenta la capacidad de cada ramal permitiendo a los vehículos la opción de movilizarse más rápidamente.

En la Figura 33 se observa una divergencia en la que la suma de los carriles en los ramales divergentes es mayor que la cantidad de carriles en el ramal principal. En este esquema, se deduce de la demarcación y canalización de flujos, que los ramales A y B presentan tráficos semejantes y, se está garantizando un equilibrio al ingreso para que efectivamente se dé una prelación del tráfico vehicular 50-50; otra sería la situación si un flujo fuera más importante que el otro, pues en ese caso, correspondería una configuración como la de la Figura 34. Nótese que la aparición de los carriles adicionales solo se da después de la nariz, con el fin de evitar turbulencias cerca de la misma y aumentar la capacidad en cada ramal divergente (Véase Capítulo 3-Sección 6.2 Evaluación del tránsito en corredores-Análisis puntual).

Así mismo, esta divergencia se encuentra en una curva vertical convexa razón por la cual se debe garantizar siempre la distancia de visibilidad suficiente para que los vehículos puedan observar la nariz, de lo contrario ésta se convierte en un obstáculo frontal colisionable que aumenta el riesgo de accidentes de tráfico. Complementariamente, se debe garantizar una señalización que informe clara y oportunamente a los conductores qué carril deben tomar, con el fin de evitar cambios de carril peligrosos en cercanía de la nariz.

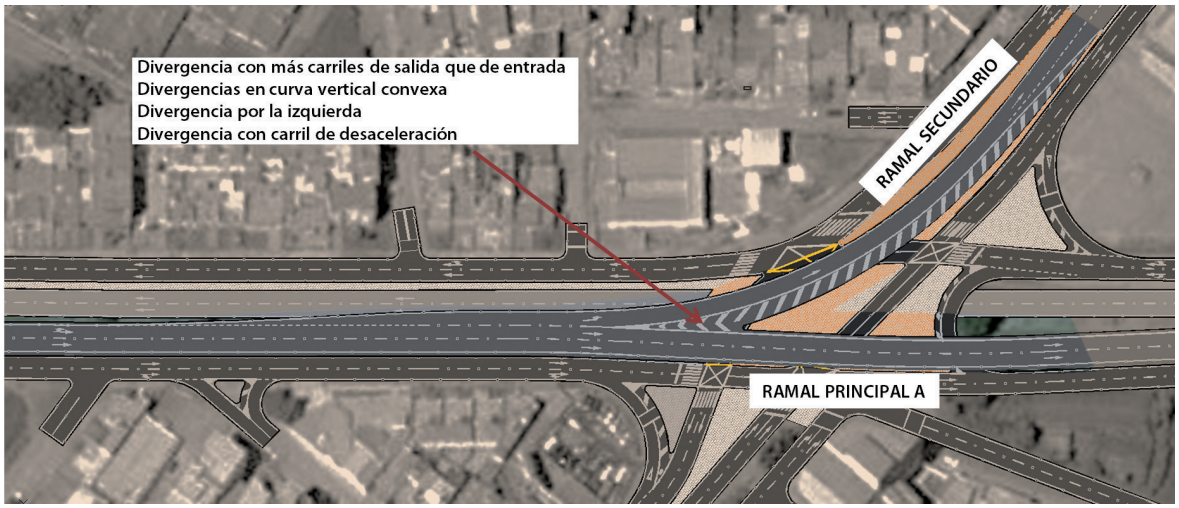
Figura 33. Divergencia tipo 6 en curva vertical convexa



Fuente: Elaboración propia.

En contraposición, si uno de los ramales registra un volumen de tráfico vehicular mayor al otro, se debe continuar con los dos carriles de forma que se garantice el flujo continuo sobre el flujo de mayor importancia o ramal principal; esto implica que al ramal secundario, es decir, el que cuenta con un menor volumen vehicular, se le deberá garantizar una incorporación segura por medio de una cuña o un carril de desaceleración. En la Figura 34, se puede observar una divergencia por la izquierda (Tipo 1), que además cuenta con más carriles después de la divergencia, es decir del tipo (6). Aunque es semejante a la de la Figura 33, este caso incluye un carril de desaceleración por dos razones: los flujos no tienen la misma prioridad o importancia en términos de tránsito, y el radio de la divergencia genera una diferencia de velocidades específicas entre los dos ramales mayor a 20 km/h.

Figura 34. Divergencia tipo 1-6 en curva vertical convexa

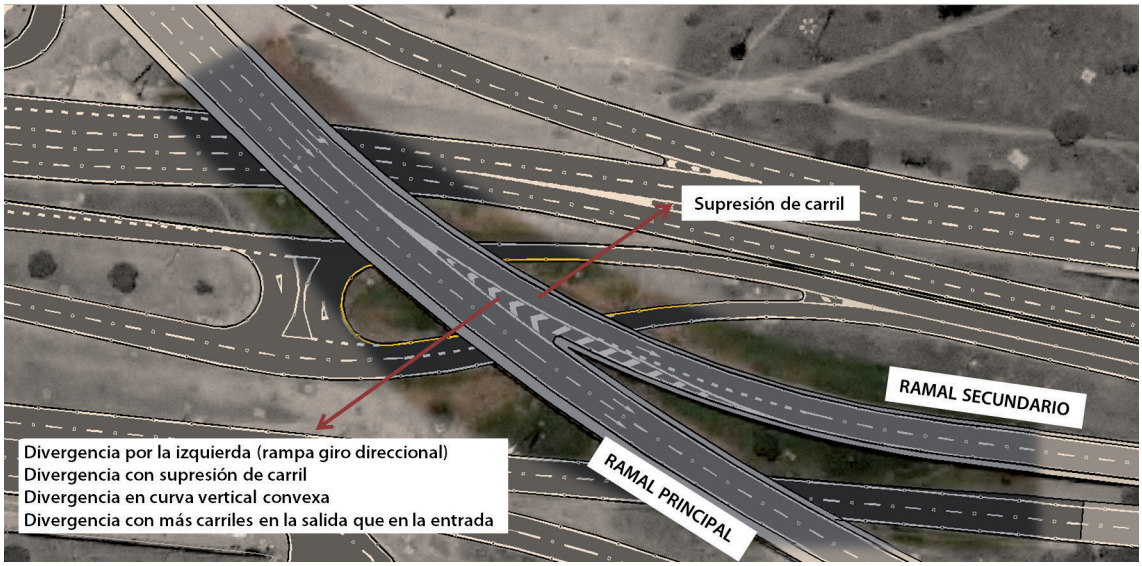


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 35 se observa otro ejemplo de Divergencia tipo 6, que difiere de los vistos anteriormente en su configuración geométrica; en los casos anteriores, las canalizaciones están dadas de forma tal que cada carril oriente a un solo destino en la divergencia, sin embargo en el caso de la Figura 35 se permite que uno de los carriles pueda usarse para acceder a cualquiera de los ramales de la divergencia, implicando una decisión justo en la zona de la nariz, y no con antelación como en los casos anteriores. Este tipo de divergencias, puede implicar mayor capacidad al dar la misma prioridad a ambos ramales; no obstante debe canalizarse con demarcación de piso, tachas y amortiguadores de impacto (Véase Capítulo 3 Sistemas de Contención Vehicular), pues a altas velocidades y sin la configuración altimétrica necesaria, la amenaza de colisión contra la nariz puede aumentar, razón por la cual los criterios de visibilidad, distancia de parada y distancia de decisión se tornan fundamentales (Véase 4. Consideraciones geométricas para el diseño de bifurcaciones).

Aunque la Figura 35 cuenta con una configuración similar a la registrada anteriormente en la Figura 28, esta última dejaría de ser del tipo 1 debido a que los tráficos que ingresan a los ramales son semejantes y, por lo tanto, se debe garantizar un ingreso vehicular con prioridades 50-50 para cada ramal convirtiendo ambos ramales en principales (Véase Capítulo 3 –Sección 6.2 Evaluación del Tránsito en corredores – Análisis Puntuales).

Figura 35. Divergencia tipo 6 en curva vertical convexa



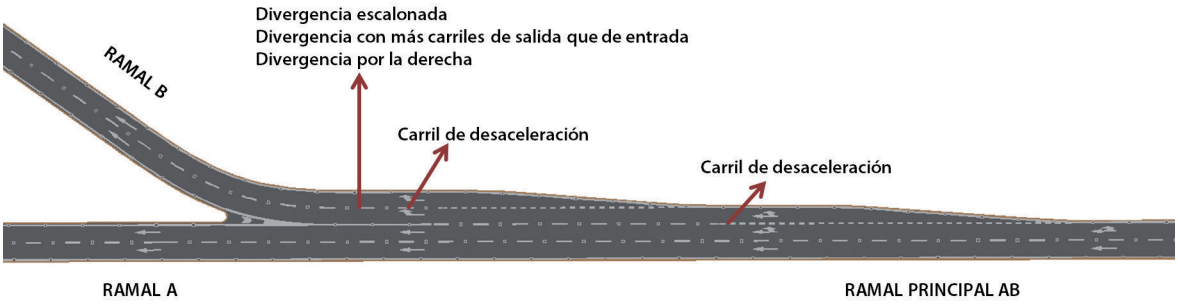
Fuente: Elaboración propia.

Divergencias con carriles escalonados

La divergencia con carriles escalonados es una opción que permite canalizar de forma progresiva, segura y con mayor fluidez una divergencia de un ramal principal a un ramal secundario que cuenta con dos carriles o más carriles. Con ella se asegura que los conductores desaceleren hasta que puedan alcanzar progresivamente la velocidad del ramal secundario sin necesidad de ser canalizados a un solo carril con antelación. No obstante este tipo de divergencias pre-

senta varios problemas en referencia al mayor espacio que requiere por la incorporación de los carriles de desaceleración, así como dificultades con el manejo y continuidad del tráfico peatonal, ubicación de paraderos y complicaciones de manejo arquitectónico en cuanto a la forma de los andenes. En consecuencia, configuraciones de este tipo de alternativa no son comunes en zonas urbanas especialmente si éstas se realizan por la derecha (tipo 2), véase Figura 36. De acuerdo con lo anterior, este tipo de divergencias podría usarse en AU y en zonas que preferiblemente no presenten tráfico peatonal adyacente o en divergencias de giros izquierdos canalizados o retornos que cuentan con separadores amplios.

Figura 36. Divergencia con rampa de dos carriles con carriles de desaceleración consecutivos (escalonada) sin paso de peatones o ciclistas



Fuente: Elaboración propia.

Las divergencias escalonadas se pueden aplicar cuando se realizan por la izquierda y se cuenta con un separador de calzadas amplio. Por ejemplo, en la Figura 37 se presenta un caso de fácil implementación para este tipo de divergencia, que permite conexión a un retorno con dos carriles de circulación.

Figura 37. Divergencia tipo 1-7-9



Fuente: Elaboración propia.

Divergencias de giros canalizados

Las divergencias para giros canalizados se originan con el fin de evitar el paso por la zona antibloqueo de un cruce semaforizado o por la calzada anular, en el caso de una glorieta; de esta manera se evita el congestionamiento de la intersección garantizando la fluidez de la misma. Es importante que este tipo de giros sean proyectados de acuerdo al análisis de las demandas aforadas y proyectadas, pues en este caso la longitud de las cuñas o carriles de incorporación (o acumulación), no depende solamente de la transición de velocidades, sino de la necesidad de albergar una cola de vehículos en espera, sin bloquear los demás flujos de la intersección.

Por lo general, las divergencias de giros derechos canalizados, como la mostrada en la Figura 38 son del tipo 3, es decir con cuña. Esto se debe a que la conexión se realiza comúnmente de la calzada paralela al ramal de salida de la glorieta o del cruce semaforizado, es decir a zonas de velocidades menores a 40 km/h y por lo tanto para la transición de velocidades es suficiente con la selección de un radio acorde con esta velocidad. Sin embargo, en casos en los que la velocidad del ramal del giro derecho canalizado y la del ramal principal difieran en más de 20 Km/h será necesario disponer radios mayores para permitir un ingreso más eficiente o incluso carriles de desaceleración que podrán ser utilizados en divergencias que cuenten o dispongan de cruces peatonales que obligan a reducir la velocidad a 0 km/h para permitir el cruce seguro de los peatones para luego acelerar hasta alcanzar la velocidad del flujo principal.

Lo anterior responde a un análisis netamente geométrico. Sin embargo, en los casos de divergencias para giros canalizados, el análisis de tránsito es fundamental pues de acuerdo con una revisión meticulosa de las demandas aforadas, deberá realizarse un estudio de las colas generadas para el movimiento izquierdo o derecho, que lleve al especialista en tránsito a definir si efectivamente la cuña es suficiente o si por el contrario se requiere de un carril de acumulación o de una configuración con adición de carril tipo 4.

En intersecciones semaforizadas, la interacción entre el especialista geométrico y el de tránsito, es igualmente importante. Como se observa en la Figura 39 la demanda y el análisis de colas es indispensable para definir la configuración de un giro canalizado, que en el caso de la imagen en cuestión corresponde a un movimiento divergente por la izquierda (1), con más carriles de salida que de entrada (6) y referente a un movimiento canalizado (8). En esta figura, la cola supera la longitud del carril de desaceleración (sin incluir cuña) y obliga a los vehículos a incorporarse al giro realizando maniobras en desacuerdo con el diseño geométrico. En casos como éste el criterio de tránsito condiciona el geométrico y la función del carril pasa de ser la transición de velocidad, determinándose ahora, por la necesidad de acumulación. Debe considerarse que para colas extensas resulta más funcional otro carril de giro paralelo y no uno de acumulación más largo, dado el comportamiento habitual de los conductores.

Figura 38. Divergencia tipo 2-3-6-8 en glorieta

Divergencia de giro canalizado (Glorieta)
Divergencia con Cuña
Divergencia por la derecha
Divergencia con mas carriles de salida que de entrada



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Divergencia tipo 1-6-8 en semáforo

Divergencia de giro canalizado
Divergencia por izquierda
Divergencia con mas carriles de salida que de entrada
Divergencia con carril de desaceleración



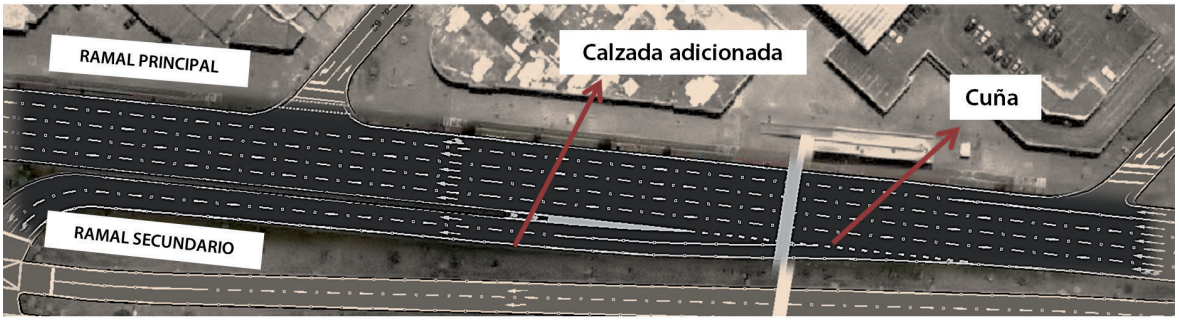
Fuente: Elaboración propia.

Divergencias para ingreso a retornos

Generalmente las divergencias para ingreso a retornos en vías principales y complementarias se diseñan con carriles de desaceleración en función de la transición de velocidades. En vías intermedias pueden manejarse con cuñas de incorporación o semaforizados, en función del análisis y el estudio de tránsito y el espacio. Para realizar una divergencia de ingreso a retorno se pueden ejecutar varias configuraciones geométricas con el fin de aumentar la capacidad de los carriles de incorporación y aprovechando el espacio adyacente del separador central; ejemplos de divergencia para ingreso a retorno pueden apreciarse en la Figura 40, la cual hace referencia a vías de tipo arterial complementaria.

Figura 40. Canalizaciones en divergencias tipo 1-6-9

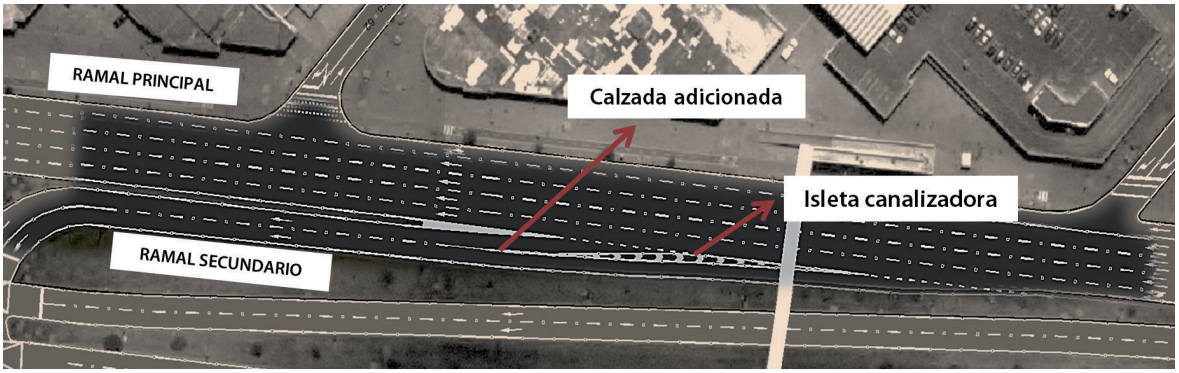
Divergencia para ingreso a retorno semaforizado
Divergencia por la izquierda
Canalización con isleta canalizadora
Divergencia con más carriles de salida que de entrada



a. Ingreso por medio de cuña de incorporación – canalización antes de la convergencia



b. Ingreso a retorno tipo escalonado



c. Ingreso a retorno por medio de isleta canalizadora

Fuente: Elaboración propia.

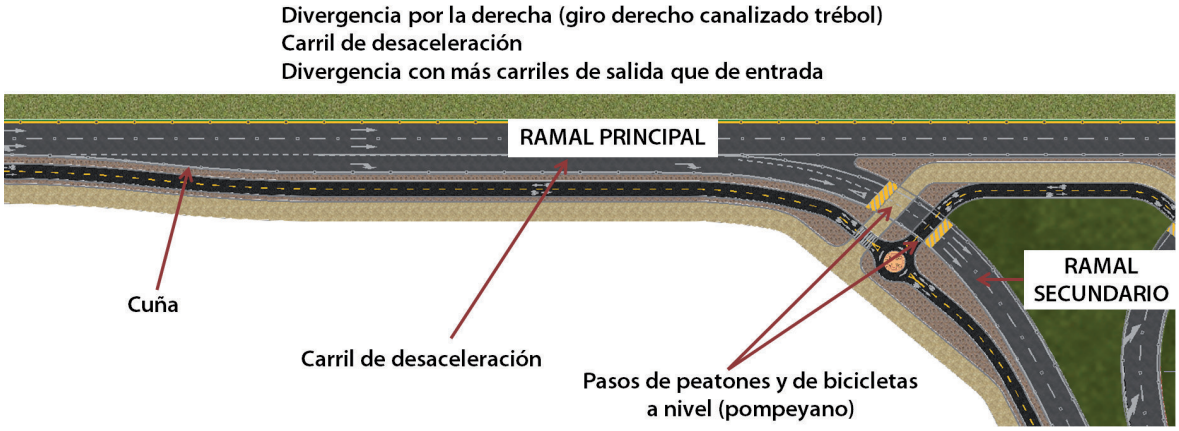
La selección de la alternativa a, b o c dependerá fundamentalmente del análisis de tránsito, de los análisis de seguridad vial y de la canalización de los flujos peatonales que cruzan el ramal secundario, en caso de que existan. Cabe aclarar que no es solamente aplicable en divergencias hacia retornos, sino en todos los demás tipos, teniendo en cuenta las restricciones existentes.

3.2.4 Manejo de conflictos con vehículos, peatones y ciclousuarios en divergencias

Al igual que en las convergencias, el manejo de peatones y ciclousuarios es una prioridad que debe ser atendida en los diseños de intersecciones urbanas. La prioridad, debe ser que los peatones tengan prelación. Este criterio genera una serie de infraestructuras para los peatones y ciclousuarios que afectan de uno u otro modo el funcionamiento vehicular en la intersección, debido a que al generarse zonas de pasos a nivel para peatones y ciclousuarios, los vehículos que vienen a través del ramal principal deberán reducir su velocidad hasta llegar a cero, de modo que los peatones y ciclousuarios puedan pasar de forma segura y cómoda a través del pompeyano ubicado en el ramal secundario. Esta reducción de velocidad aumenta la longitud de los carriles de desaceleración, pues como se mencionó anteriormente la velocidad final tomada para dimensionar los carriles será de cero (condición con Pare).

En la Figura 41 se observa una divergencia en una intersección tipo trébol que se encuentra ubicada en una zona urbana, allí se puede apreciar el pompeyano sobre el cual se permite el paso peatonal y de ciclousuarios y que hace que los vehículos que vienen a través del carril de desaceleración reduzcan totalmente su velocidad hasta parar, para así permitir el paso peatonal y de ciclousuarios.

Figura 41. Canalizaciones en divergencias tipo 2-6 con paso peatonales a nivel

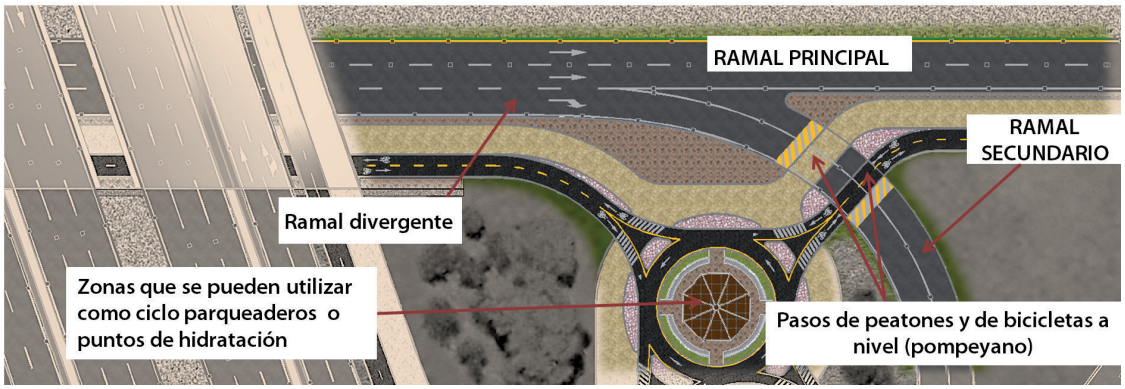


Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

En la Figura 42 se muestra una divergencia que plantea un manejo peatonal y de ciclousuarios eficiente y seguro. En ella los vehículos que vienen por el carril a suprimir del ramal principal deben detenerse antes del pompeyano y pasar a través de él a una velocidad cercana a cero de modo que los peatones y ciclistas puedan pasar protegidos y cómodos. Es importante realizar un análisis conjunto de las áreas de tránsito, diseño geométrico y espacio público de modo que se determinen aspectos operativos y de seguridad vial claves para lograr una solución integral que permita además, la optimización de los tiempos de viaje y la seguridad de cada uno de los actores presentes en este tipo de divergencias urbanas (vehículo, peatón, ciclista).

Figura 42. Canalizaciones en divergencias tipo 2-4-5-8 con paso de peatones y ciclousuarios a nivel

Divergencia por la derecha (oreja trébol)
Supresión de carril
Divergencia con el mismo numero de carriles de entrada que de salida de entrada



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

Como recomendación primordial para el manejo de los flujos de ciclistas, se debe considerar que la bicicleta es un vehículo y por tanto deben tener un tratamiento propio en relación con la geometría de ejes en planta y rasante (deben incluir diseños de pendientes longitudinales y transversales, rasantes independientes de las vehiculares y en general un diseño completo desarrollado por un especialista en diseño geométrico de vías).

Debe tenerse en cuenta que los recorridos para peatones y ciclistas deben ser coherentes, directos, seguros, confortables y atractivos, lo cual se consigue, entre otros aspectos, con continuidad de las rutas y conexiones a una verdadera red de movilidad, solución a todos los movimientos posibles, reducción de conflictos, diseños seguros; señalización clara, oportuna, visible y pertinente; manejo de texturas y diferencias altimétricas que clarifiquen las prioridades, entre otros aspectos.

3.2.5 Entrecruzamientos

D

ENTRECRUZAMIENTO

El entrecruzamiento se presenta cuando dos corrientes vehiculares que viajan en el mismo sentido confluyen, siguen combinados por cierto tiempo y luego se separan, durante esta proceso cierto número de vehículos pasan de la corriente derecha a la izquierda y viceversa, mediante cambios de carril, cruzando mutuamente sus trayectorias, sin la intervención de instrumentos de control. (SÁENZ, y otros, 2000).

Las zonas de entrecruzamiento se originan cuando existe una convergencia seguida de cerca por una divergencia o cuando a un ramal de entrada le sigue a cierta distancia uno de salida, siempre y cuando estén unidos por medio de un carril auxiliar. De acuerdo con lo anterior,

las condiciones operativas en una zona de entrecruzamiento dependerán principalmente de la interacción entre los vehículos de las diferentes corrientes vehiculares y la interacción entre vehículos y características geométricas de la vía, además de las condiciones ambientales, condiciones del pavimento, de visibilidad y/o incidencias de tráfico (TRB, Transportation Research Board, 2010).



- **Existen tres características geométricas que deben tenerse en cuenta en un entrecruzamiento: Longitud, Configuración y Ancho.**
- **Si la longitud es tan corta que no permite un intercambio secuencial y seguro de carriles se convierte en un cruce sesgado.**
- **No se consideran tramos de entrecruzamiento los ramales de acceso seguidos de uno de salida si no están unidos por un carril auxiliar. (Se tratan como convergencias y divergencias por separado).**

En la Figura 43 se muestra un segmento de entrecruzamiento en una vía principal. En esta, los vehículos que viajan del ramal A al ramal D interfieren con los vehículos que viajan de B a C, razón por la cual los movimientos de A-D y B-C son de entrecruzamiento. También podemos observar los flujos de AC y BD que circulan por la vía, pero como éstos no están obligados a cruzarse en el camino de otro flujo, se denominan movimientos no entrecruzados
Existen tres características geométricas que afectan las características operativas de los segmentos de entrecruzamiento.

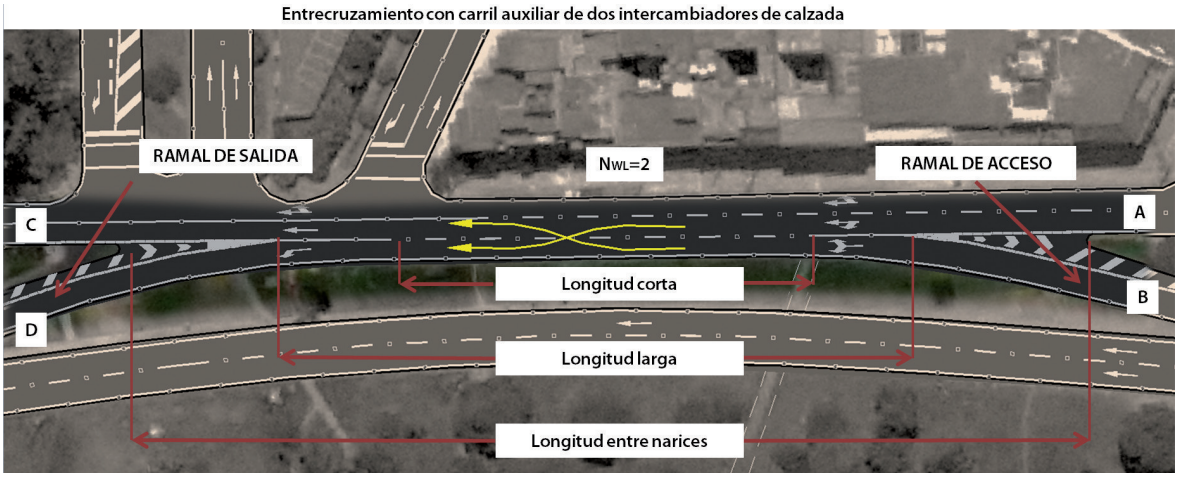
Longitud de entrecruzamiento: la longitud es la distancia entre la convergencia y la divergencia que forman el segmento de entrecruzamiento; cuando es tan corta, que no permite el intercambio de carriles secuencialmente y en la dirección del flujo principal, se considera como cruce sesgado, situación que debe evitarse en cualquier caso.

La longitud debe ser medida desde el vértice o nariz de la zona de confluencia, y hasta un punto en la nariz de la zona de divergencia (TRB, Transportation Research Board, 2010). Esta distancia limita el tiempo y espacio en los que el conductor debe realizar todos los cambios de carril necesarios; es decir, si se disminuye la longitud de entrecruzamiento, se incrementa la intensidad de los cambios de carril y por tanto la turbulencia.

Existen otras dos longitudes importantes que se ilustran en la Figura 43, La Longitud Corta (L_S, por sus siglas en inglés Length Short) y la longitud Base (L_B). La Longitud corta (L_S) corresponde a la distancia en metros entre los puntos extremos de cualquier marca o barrera (líneas blancas continuas o tachas) que prohíben o restringen el cambio de carril. Por su parte la Longitud Base (L_B) se refiere a la distancia en metros desde el primer punto de contacto del borde izquierdo de la rampa con el borde derecho de la vía principal, hasta el punto donde éstas divergen.

El uso de la longitud corta en la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) no quiere sugerir que el cambio de carril en un segmento de entrecruzamiento se límite a esta longitud, pues en algunos casos el cambio de carril se realiza incluso desde el inicio de la línea continua. Sin embargo se considera que el área efectiva de entrecruzamiento corresponde a la zona punteada, puesto que el espacio entre la longitud base y la longitud de entrecruzamiento debe funcionar para una canalización segura de los flujos.

Figura 43. Longitud de entrecruzamiento



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, se incorpora la longitud entre narices la cual incluye un segmento adicional, por lo general demarcado con líneas de aproximación a zonas de convergencia o divergencia, conocidas como espinas de pescado, las cuales indican la presencia de un área en la que se recomienda no transitar pero que se ofrece para eventualidades en las que se permita el adelantamiento o la conexión directa con el flujo principal, sin hacer uso del carril adicionado.

Configuración: se define por la forma como los carriles de entrada y salida están vinculados. Esta razón determina el número de cambios de carril que el conductor debe hacer para completar con éxito la maniobra de entrecruzamiento.

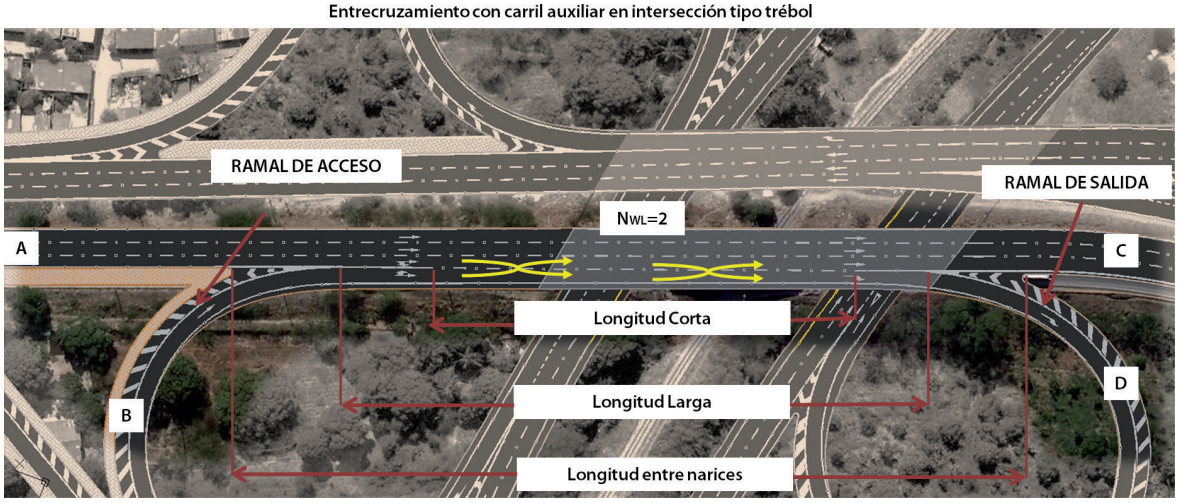
En manuales anteriores al HCM 2010 existía una clasificación en tres tipos de configuraciones las cuales tenían en cuenta el número de movimientos que se necesitaban para realizar con éxito la maniobra de entrecruzamiento (antes llamados según tipología, como A, B y C), actualmente solo es necesario conocer la cantidad de carriles vinculados en el tramo de entrecruzamiento e identificar el tipo según la variable N_{WL}.

En la Figura 43, al igual que en la Figura 44, se observa un ramal de acceso seguido de un ramal de salida, estos dos ramales se encuentran unidos por un carril auxiliar. En este tipo de configuraciones los vehículos que acceden y deseen incorporarse a la vía principal, deben realizar un cambio de carril iniciando desde el carril auxiliar hacia el carril derecho de la vía principal.

Caso contrario ocurre para los vehículos que deseen abandonar la vía principal para tomar el carril de salida por la derecha, pues estos deben cambiar desde el carril derecho al carril auxiliar. Dentro de la zona de entrecruzamiento existen otros cambios de carril entre los carriles internos de la vía principal, pero éstos, no se deben a la maniobra de entrecruzamiento.

Las áreas de entrecruzamiento que se forman por un ramal de entrada seguido de un ramal de salida y unidos por un carril auxiliar se denominan tramos de entrecruzamiento entre ramales o tramos de trenzado lateral porque todos los movimientos de entrecruzamiento se hacen en un costado de la vía. Como ya se mencionó, los ramales de acceso seguidos de uno de salida, que no están unidos por un carril auxiliar, no se consideran tramos de entrecruzamiento, por tanto, si ello ocurre se deben tratar como convergencias y divergencias por separado.

Figura 44. Entrecruzamiento con carril auxiliar N_{WL}=2 – Intersección tipo trébol

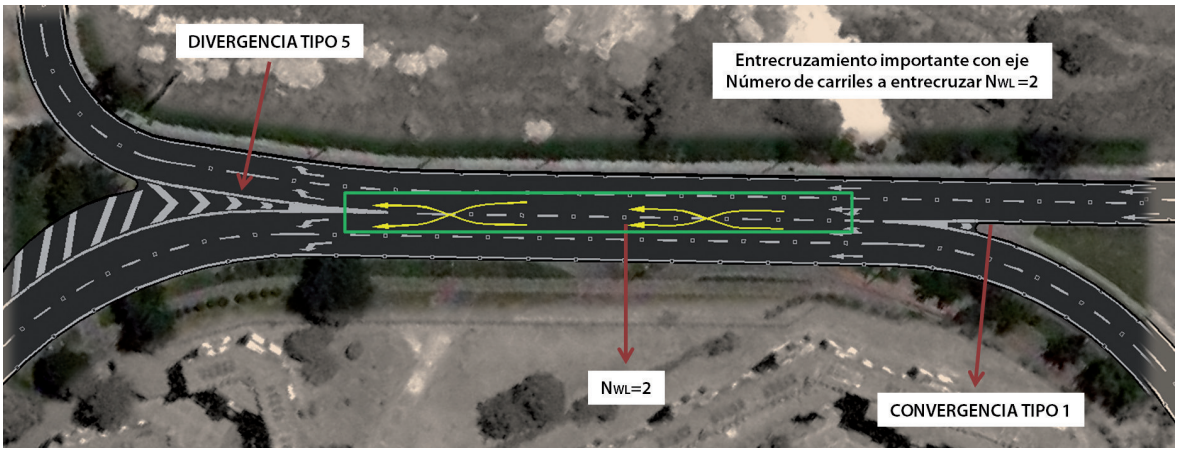


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45 se puede apreciar otro ejemplo de área de entrecruzamiento el cual se caracteriza por tener dos o más vías de acceso o salida por la derecha o izquierda, con varios carriles cada una, también llamada zona de entrecruzamiento importante. En el caso de la Figura 45 se observan dos accesos de dos carriles cada uno de los cuales se unen para formar una vía de cuatro carriles, que se separa nuevamente en dos ramales de salidas de dos carriles cada uno. Esta condición genera un eje de entrecruzamiento, es decir, una línea de separación de carriles que conecta el vértice de la nariz de acceso con el de la salida, lo que permite a los vehículos realizar las maniobras de entrecruzamiento.

Los vehículos que realizan la maniobra de entrecruzamiento deben cruzar el eje de entrecruzamiento y compartir además la circulación con los vehículos que no realizarán dicha maniobra; por tanto se considera que para realizar la maniobra de entrecruzamiento, solamente se ocuparan los carriles inmediatamente adyacentes a dicho eje durante el tramo de entrecruzamiento, es decir N_{WL}=2.

Figura 45. Entrecruzamiento importante con Eje, $N_{WL}=2$



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46, se observa como el movimiento B – C puede realizarse sin ejecutar cambio de carril, mientras el movimiento A – D requiere de solo un cambio de carril. Estas configuraciones soportan grandes volúmenes, debido al "carril de paso" proporcionado para uno de los movimientos de entrecruzamiento (BC), razón por la cual las maniobras de entrecruzamiento pueden lograrse con un solo cambio de carril desde el carril o carriles adyacentes hacia el "carril de paso", haciendo que los vehículos que se entrecrucen puedan ocupar un número significativo de carriles durante el recorrido por la zona de entrecruzamiento. La cantidad de carriles ocupados en la zona de entrecruzamiento es 2 (N=2), conformados por el carril de paso directo y el adyacente. El movimiento de la Figura 46 no presenta conflicto en la nariz de salida, pues el mismo carril sirve para acceder a dos direcciones: C o D.

Figura 46. Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de salida, $N_{WL}=2$



Fuente: Elaboración propia.

El movimiento de la Figura 47 también se considera entrecruzamiento importante que a diferencia del anterior, se presenta un conflicto en la nariz de entrada en la cual dos carriles acceden simultáneamente al "carril de paso". Esta situación que debería evitarse por no existir claridad en cuanto a cuál de los dos movimientos tiene la prioridad en el ingreso a pesar de la señalización que pueda existir. En este caso, también existe un movimiento que se ejecuta sin cambio de

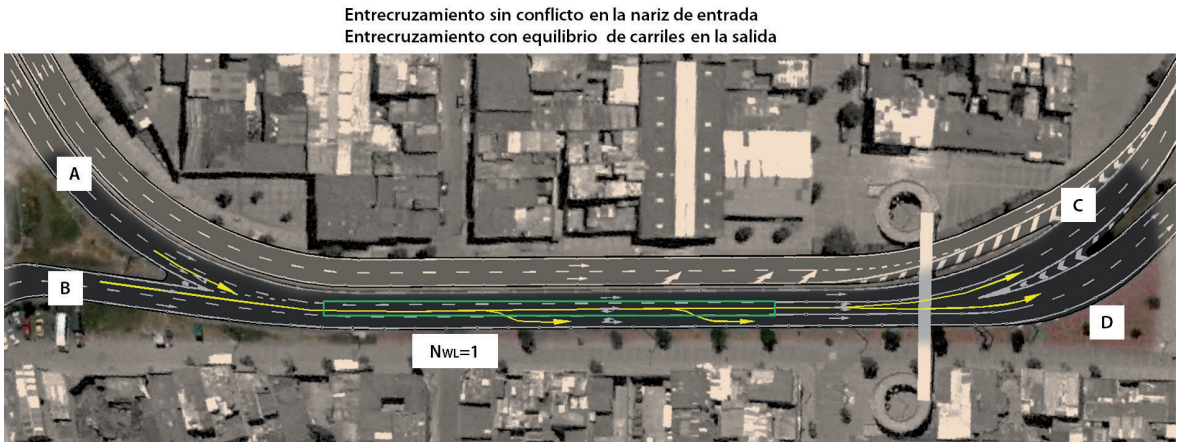
carril (BC), pero por la confluencia en la entrada se reduce la necesidad de uso del carril superior como parte del área de entrecruzamiento, razón por la cual se considera del tipo N=2.

Figura 47. Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de entrada y desequilibrio de carriles en la de salida $N_{WL}=2$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de entrada y equilibrio de carriles en la de salida; $N_{WL}=1$



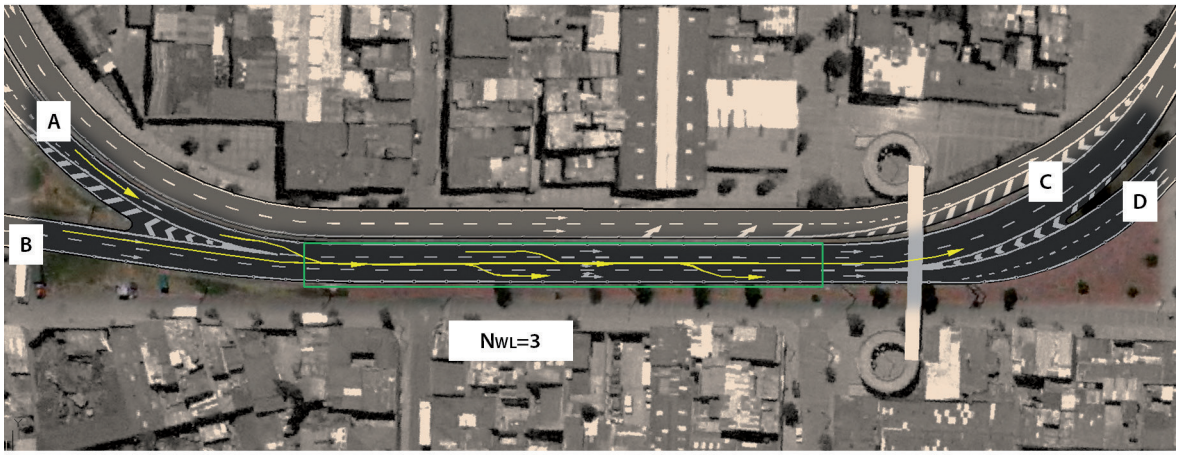
Fuente: Elaboración propia.

Por su parte la Figura 48, comparte, respecto a la anterior, las características derivadas de la confluencia de carriles en la entrada y el número de carriles en la zona de entrecruzamiento; sin embargo, por habilitar un carril adicional en el ramal D, faculta dos movimientos de entrecruzamiento que pueden realizarse sin cambiar de carril: BC y AD, situación que incrementa los volúmenes de entrecruzamiento y otorga mayor exigencia en la longitud de la zona de entrecruzamiento.

En la Figura 49(a) y Figura 49(b) se observan los mismos tramos viales mostrados en la Figura 47 y Figura 48 respectivamente, sin embargo, en la Figura 49 se eliminó la confluencia de carriles canalizando uno de los carriles del ramal A. Este cambio, realizado simplemente con señalización, modificó por completo la configuración del entrecruzamiento que se presentaba en la Figura 47 y Figura 48, pues los vehículos que vienen del ramal A y se dirigen al ramal D deberán realizar una maniobra de cambio de carril adicional para tomar el carril de paso. Debido a esto, la cantidad de carriles ocupados en la zona de entrecruzamiento aumentó en uno, mientras la longitud de entrecruzamiento se disminuyó debido a la canalización realizada en el ramal A.

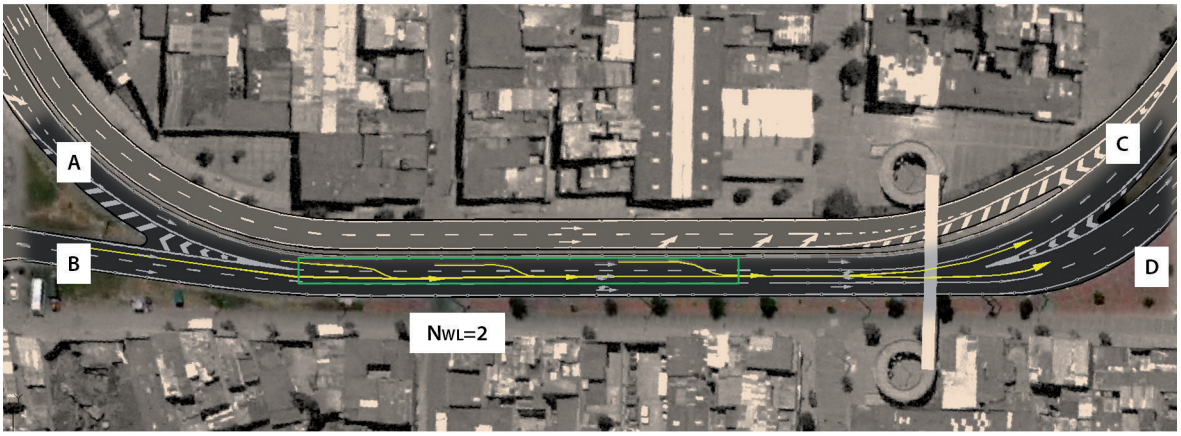
Figura 49. Entrecruzamiento importante sin conflicto en la nariz de salida con $N_{WL}=3$ y $N_{WL}=2$

Entrecruzamiento sin conflicto en la nariz de entrada
Desequilibrio de carriles en la salida



a. Entrecruzamiento sin conflicto en la nariz de entrada y desequilibrio en los carriles de salida Tipo $N_{wL}=3$

Entrecruzamiento sin conflicto en la nariz de entrada
Entrecruzamiento con equilibrio de carriles en la salida



b. Entrecruzamiento sin conflicto en la nariz de entrada y equilibrio de carriles en la salida Tipo $N_{wL}=2$

Fuente: Elaboración propia.

Otro ejemplo se muestra en la Figura 50, caracterizada porque no hay una confluencia de carriles en el vértice de la entrada, no existe equilibrio de carriles en el vértice de salida, ni tampoco

se genera eje de entrecruzamiento. Este tramo de entrecruzamiento es relativamente eficiente para maniobras en el sentido del carril de paso, es decir para el movimiento BC, pero no puede manejar grandes volúmenes en la otra dirección, AD. En cuanto al tipo de entrecruzamiento, se denomina como N=3 pues la zona de entrecruzamiento se conforma por el carril de paso más los dos adyacentes.

Figura 50. Entrecruzamiento importante sin equilibrio de carriles ni confluencia; $N_{WL}=3$

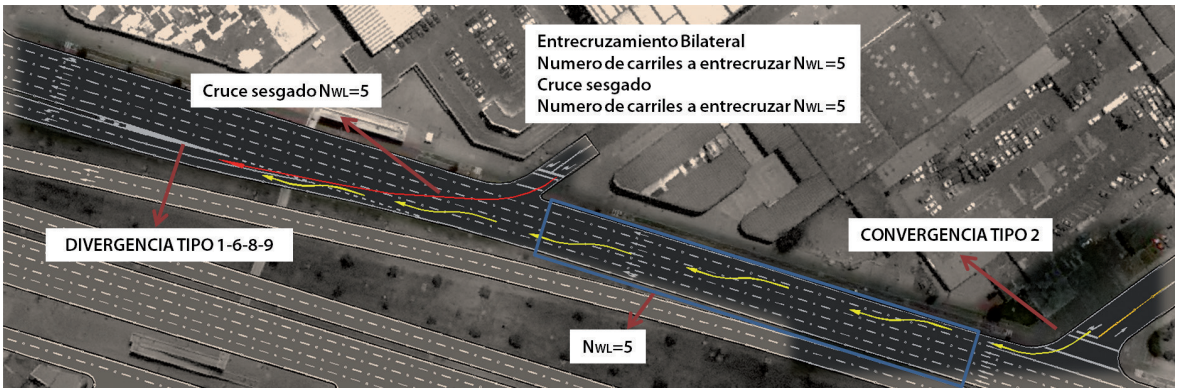


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cuando a un ramal de acceso por la derecha le sigue uno de salida por la izquierda, o viceversa, los carriles de la vía principal actúan como carriles de paso en el entrecruzamiento, razón por la cual los vehículos que van de un ramal a otro deben hacer varios cambios de carril para lograr su objetivo. A este tipo de configuración se le conoce como zona de entrecruzamiento bilateral y debe evitarse.

En la Figura 51 se observa un entrecruzamiento bilateral, en el cual se puede apreciar como los vehículos que salen de la convergencia de la bocacalle (tipo 2), deben realizar cinco cambios de carril para poder incorporarse a la divergencia que los llevará al retorno operacional (Divergencia Tipo 1-6-8-9). Frente a la divergencia se encuentra otra bocacalle igual a la descrita anteriormente, sin embargo a diferencia de ésta, los vehículos que salen de ésta y desean tomar el retorno, no tienen la distancia suficiente para poderse entrecruzar llevándolos a atravesar la vía de forma sesgada (Cruce sesgado), maniobra que en cualquier condición es recomendable evitar.

Figura 51. Entrecruzamiento bilateral; $N_{WL}=5$



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 se observa otro entrecruzamiento bilateral en el cual los vehículos que salen del ramal secundario de la convergencia tipo 1-6, deben atravesar tres carriles para poder tomar el ramal secundario de la divergencia tipo 2-6 (Movimiento A-E). Además en este tramo vial se presenta un entrecruzamiento importante con eje debido a la presencia del retorno y los movimientos de los vehículos que salen del ramal secundario de la convergencia y desean continuar por el ramal principal (Movimiento A-D) y los vehículos que vienen por la principal y desean tomar el retorno (Movimiento B-C). Se debe recordar que es necesario evitar los entrecruzamientos bilaterales y mucho más aún, si se le suma otro entrecruzamiento que genere conflictos adicionales y por consiguiente, mayor exposición a la accidentalidad.

Figura 52. Entrecruzamiento bilateral; $N_{WL}=3$ con entrecruzamiento importante con eje $N_{WL}=2$



Fuente: Elaboración propia.

Ancho del segmento: corresponde a la tercera característica geométrica en influir en el funcionamiento del segmento del entrecruzamiento; se define como el número total de carriles entre la entrada y el comienzo de la salida dentro del segmento de entrecruzamiento. A medida que aumenta el número de carriles aumenta la capacidad, al mismo tiempo aumenta la posibilidad de cambio de carril dentro de la zona de entrecruzamiento. (TRB, Transportation Research Board, 2010).

4. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS PARA EL DISEÑO DE BIFURCACIONES

4.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS

Las bifurcaciones corresponden a zonas en las que el tráfico se une o se separa de una corriente principal desde o hacia otra corriente que podría ser secundaria, de la misma jerarquía, o de mayor jerarquía.

Bifurcación es, entonces, el término usado para agrupar los conceptos de convergencia y divergencia, involucrando todos los tipos antes descritos.

El manejo geométrico de las zonas donde se presenten convergencias, divergencias demanda concebir un diseño seguro, cómodo y acorde. Además debe tener en cuenta el entorno del proyecto de manera que permita la identificación de elementos que afecten la intersección, y admita correcciones en la etapa de diseño para evitar sobrecostos por ajustes en construcciones de intersecciones inseguras. El diseñador urbano debe tener en cuenta al peatón y al ciclousuario proporcionándole todas las facilidades para que disponga de zonas de paso seguras.

4.1.1 Carriles de cambio de velocidad

Un carril de cambio de velocidad es aquel que permite realizar la reducción o el aumento de velocidad entre una ramal secundario y un flujo principal, o viceversa. Estos carriles deben complentarse con cuñas de transición que faciliten la incorporación o salida de la corriente principal.

Según sus funciones, reciben el nombre de (1) carriles de desaceleración o (2) carriles de desaceleración. A continuación se aborda cada uno, de manera separada, debido a las diferencias en la conducta del usuario frente a éstas y a las consideraciones geométricas particulares de cada tipo.

1. **Carriles de aceleración:** los carriles de aceleración tienen por objeto permitir a los vehículos que vienen de un ramal, alcancen una velocidad similar a la presentada sobre la vía que converge (calzada principal) de modo que su incorporación sea de una forma cómoda y segura; estos carriles se requieren, si la diferencia de las velocidades específicas de los ramales es mayor a 20 km/h, o en caso de un alto volumen peatonal que cambie las condiciones del tráfico.

Estos carriles deben ser paralelos a la calzada principal para permitir la visibilidad necesaria la cual se produce por medio de los espejos retrovisores de los vehículos haciendo que la complejidad de dicha maniobra sea alta y esté condicionada por las eventualidades del tráfico de la calzada principal.

Es importante aclarar que los carriles de aceleración y desaceleración son aplicables a Autopistas Urbanas, y a la Malla Vial Arterial, tanto Principal, como Intermedia y Complementaria, si

están diseñadas para velocidades superiores a 60 km/h (MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2009) o siempre que la diferencia entre la velocidad antes de la incorporación y la velocidad de la corriente principal sea mayor a 20 km/h. Situación que se da casi siempre que hay paso peatonal y por lo tanto se obliga a parar antes de la convergencia.

En este sentido, en el diseño de carriles de aceleración es importante determinar si existe o no presencia de peatones y ciclousuarios, debido a que condicionan drásticamente el diseño de este tipo de infraestructura. En caso de la existencia de peatones, el vehículo debe parar completamente y permitir el paso de los peatones y los ciclousuarios, quienes siempre tendrán la prioridad. Luego del paso peatonal, el vehículo arrancará de una velocidad igual a cero para alcanzar la velocidad del tránsito del ramal al cual se dirige.

El diseño de carriles de aceleración consta de tres elementos:

Longitud del Carril: la longitud de los carriles de aceleración está basada en la combinación de tres factores (Carciente, 1980):

- La velocidad de giro para entrar al carril de aceleración (depende de la presencia de modos no motorizados).
- La velocidad de convergencia en la corriente del tráfico principal.
- El tipo de convergencia.

La longitud total del carril de aceleración incluye la zona de ancho constante donde se permite la aceleración y la zona de transición o cuña, la cual se mide desde el punto donde el carril de aceleración queda totalmente paralelo (punto de tangencia del borde izquierdo del ramal con la calzada principal) hasta el punto donde convergen totalmente los dos bordes externos.

A continuación se muestran valores recomendados en el Manual de Diseño Geométrico (INVIAS, Instituto Nacional de Vías, 2008) para la selección de la longitud de los carriles de aceleración, de acuerdo con la velocidad específica de la calzada de destino como de la velocidad especifica del ramal de entrada. Los valores incluyen la longitud de transición que se muestra en la columna 3.

Tabla 2. Longitud total del carril de aceleración (incluye longitud de transición)

TIPO DE VIA		VELOCIDAD ESPECÍFICA CALZADA DESTINO	LONGITUD DE TRANSICIÓN	VELOCIDAD ESPECÍFICA RAMAL DE ENTRADA (1) O DE ENLACE (2) CALZADA DE DESTINO						
				PARE	25	30	40	50	60	80
VRU VAC VAP	VAI	50	45	90	70	55	45	-	-	-
		60	55	140	120	105	90	55	-	-
		70	60	185	165	150	135	100	60	-
		80	65	235	215	200	185	150	105	-
		90	70	280	260	245	230	205	160	70
	AU	100	75	340	320	305	290	255	210	105
		110	85	390	370	350	340	310	260	155
		120	90	435	425	410	390	360	300	210

(1) Ramal de entrada en el caso de intersecciones canalizadas a nivel.
(2) Ramal de enlace en el caso de intersecciones a desnivel.

Fuente: Elaboración propia con base en (INVIAS, Instituto Nacional de Vias, 2008).

Es importante mencionar que, si en la intersección existen zonas destinadas al paso peatonal, la velocidad específica del ramal de entrada corresponderá a cero (condición de pare), razón por la cual la longitud del carril de aceleración es mayor que si no existieran los pasos peatonales en la bifurcación.

En vías urbanas con pendientes altas, es importante tener en cuenta el efecto que la pendiente tiene sobre el vehículo a la hora de acelerar para incorporarse al flujo principal. Así, si el carril de aceleración presenta una pendiente superior al 2%, la longitud total debe incrementarse y si la pendiente es negativa en sentido de avance del vehículo y menor al -2%, la longitud se puede disminuir en función de la seguridad, eficiencia y optimización de espacios. Estos aumentos o disminuciones en la longitud del carril de aceleración se realizarán de acuerdo a las recomendaciones dadas por la AASHTO, que se consignan en la Tabla 3.

Tabla 3. Correcciones por pendientes a los carriles de aceleración

Velocidad de diseño vía principal (Km/s)	Factores de ajuste por pendiente, según la velocidad del ramal secundario						
	35	40	50	60	65	80	Todas las velocidades
	3% a 4% subiendo						3% a 4% bajando
60	1.30	1.30	1.40	1.40	-	-	0.70
70	1.3	1.30	1.40	1.40	1.50	-	0.65
80	1.3	1.40	1.50	1.50	1.50	1.60	0.65
90	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.60	0.60
100	1.50	1.50	1.60	1.70	1.70	1.80	0.60
110	1.50	1.50	1.60	1.70	1.70	1.80	0.60
	5% a 6% subiendo						5% a 6% bajando
60	1.50	1.50	1.50	-	-	-	0.60
70	1.50	1.50	1.60	1.70	-	-	0.60
80	1.50	1.50	1.70	1.80	1.90	-	0.55

Velocidad de diseño vía principal (Km/s)	Factores de ajuste por pendiente, según la velocidad del ramal secundario						
	35	40	50	60	65	80	Todas las velocidades
	3% a 4% subiendo						3% a 4% bajando
90	1.60	1.60	1.80	2.00	2.10	2.20	0.55
100	1.70	1.70	1.90	2.20	2.30	2.50	0.50
110	2.00	2.00	2.20	2.60	2.70	3.00	0.50

Fuente: Elaboración propia. Adaptado (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011).

Longitud de la Cuña o Transición: la longitud de la cuña debe permitir a los conductores realizar la maniobra de convergencia de una manera cómoda, segura y clara. Ésta se calcula en función de las distancias requeridas por los conductores para realizar la operación de convergencia de forma segura y de manera que pueda seguir cómodamente por la calzada principal.

La longitud de la cuña o transición del carril de aceleración se calcula según lo establecido en la Tabla 2 y es de obligatorio cumplimiento.

Ancho ramal de entrada: debe contemplar opciones de adelantamiento en el caso de presentarse algún tipo de contingencia pero sobre todo, debe considerar el sobreancho requerido para que el vehículo de diseño pueda realizar el giro de forma segura. Se recomienda que el ancho mínimo de un ramal de entrada sea de 4.5 m; en todo caso, es aconsejable contemplar los anchos requeridos por la trayectoria del vehículo de diseño.

Ancho del Carril: el ancho mínimo de un carril de aceleración es 3.5 m de modo que permita la acomodación segura y cómoda del vehículo de diseño, sin que se generen turbulencias sobre la calzada principal. El ancho máximo será de 3.65 m.

Cuando la convergencia se realiza en curva, la cuña y el carril de aceleración podrán estar configurados con una única circular que por medio del valor de la externa, habilite el ancho requerido para la incorporación. La configuración de las tangentes de entrada y salida dependerá de los alineamientos de los ramales principal y secundario. En todo caso, las longitudes y anchos deben satisfacer los requerimientos que aquí se establecen; así mismo debe evitarse la generación de curvas revertidas y tener en cuenta las particularidades asociadas al manejo del peralte y la visibilidad (Véase numerales 4.2 y 4.3).

2. **Carriles de desaceleración:** permiten que los vehículos disminuyan la velocidad y se adapten a las nuevas condiciones geométricas que se presentan en los ramales de salida. El carril debe poseer un ancho y una longitud suficiente para que los vehículos realicen las maniobras necesarias para salir del tráfico principal de forma segura y cómoda.

De la misma forma que en los carriles de aceleración, la geometría de los carriles de desaceleración se ve afectada por la presencia de peatones y ciclousuarios debido a que el vehículo debe reducir su velocidad hasta cero justo antes de la bifurcación, de modo que se permita

su paso seguro. Esta maniobra de desaceleración hace que la longitud de los carriles se incremente para lograr un cambio de velocidad acorde con las condiciones específicas de seguridad y comodidad.

Longitud del Carril: la longitud de los carriles de desaceleración está basada en la combinación de tres factores (Carciente, 1980):

- La velocidad de giro para entrar al carril de desaceleración (depende de la presencia de modos no motorizados).
- La velocidad de divergencia en la corriente del tráfico principal.
- El tipo de divergencia.

En la siguiente tabla se muestra la longitud mínima que debe tener un carril de desaceleración dependiendo de la velocidad del ramal de entrada y de la velocidad del ramal de salida de acuerdo con lo establecido en el Manual de Diseño Geométrico (INVIAS, Instituto Nacional de Vías, 2008).

Tabla 4. Longitud carril de desaceleración

TIPO DE VIA		VELOCIDAD ESPECÍFICA CALZADA ORIGEN (km/h)	LONGITUD DE TRANSICIÓN (m)	VELOCIDAD ESPECÍFICA RAMAL DE ENTRADA (1) O DE ENLACE (2) CALZADA DE DESTINO (km/h)						
				PARE	25	30	40	50	60	80
				Longitud total= Lt + Lc (m)						
VRU VAC VAP	VAI	50	45	70	50	45	45	-	-	-
		60	55	90	70	70	55	55	-	-
		70	60	105	90	90	75	60	60	-
		80	65	120	105	105	90	75	65	-
		90	70	130	110	115	100	85	75	-
	AU	100	75	140	120	125	110	95	80	75
		110	85	150	135	135	120	120	95	85
		120	90	160	145	145	130	130	110	90

(1) Ramal de entrada en el caso de intersecciones canalizadas a nivel.
(2) Ramal de enlac en el caso de intersecciones a desnivel.

Fuente: Elaboración propia con base en (INVIAS, Instituto Nacional de Vias, 2008).

En caso que las pendientes sean mayores al 2%, es importante contemplar la afectación que causa la pendiente en los carriles de desaceleración, pues si por ejemplo el carril de desaceleración se encuentra ubicado en una zona con pendiente negativa (bajando) el vehículo deberá no solamente desacelerar sino realizar una maniobra de frenado ya que si solamente desacelera, la gravedad no le permitiría reducir la velocidad. En la siguiente tabla se presentan los factores multiplicadores para pendientes mayores a +2% o -2%.

Tabla 5. Factor de corrección de la longitud del carril de desaceleración

VELOCIDAD DE DISEÑO VÍA PRINCIPAL (KM/H)	FACTORES DE AJUSTE POR PENDIENTE	
	3% a 4% subiendo	3% a 4% bajando
Todas las velocidades	0.90	1.20
	5% a 6% subiendo	5% a 6% bajando
Todas las velocidades	0.80	1.35

Fuente: Elaboración propia. Adaptado (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011).

Longitud de las cuñas: la longitud de las cuñas se calcula en función de las distancias requeridas por los conductores para realizar la operación de incorporación al carril de desaceleración y seguir cómodamente a través de él.

En la columna 3 de la Tabla 4, se muestra el largo que debe tener la curva de transición con base en el Manual de Diseño Geométrico (INVIAS, Instituto Nacional de Vías, 2008). Este valor se suma a la longitud de desaceleración para obtener el largo total del carril de desaceleración (columnas 4 a 10 de la Tabla 4).

Ancho ramal de salida: debe contemplar opciones de adelantamiento en el caso de presentarse algún tipo de contingencia pero sobre todo, debe considerar el sobreancho requerido para que el vehículo de diseño pueda realizar el giro de forma segura. Se recomienda que el ancho mínimo de un ramal de salida sea de 4.5 m o mayor, según lo exija la trayectoria del vehículo de diseño.

Ancho del carril de desaceleración: debe ser igual al del carril adyacente para no generar disminuciones inesperadas. Se recomienda que este ancho sea mínimo de 3.50 m, máximo de 3.65.

Cuando la divergencia se realiza en curva, la cuña y el carril podrán estar configurados con una única circular que por medio del valor de la externa, habilite el ancho requerido para la circulación y la transición. La configuración de las tangentes de entrada y salida dependerá de los alineamientos de los ramales principal y secundario. En todo caso, las longitudes y anchos deben satisfacer los requerimientos que aquí se establecen; así mismo debe evitarse la generación de curvas revertidas y tener en cuenta las particularidades asociadas al manejo del peralte y la visibilidad (Véase numerales 4.2 y 4.3).

4.2 CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO DE PERALTES

El desarrollo de peraltes en carriles de desaceleración y aceleración estará ligado al concepto de línea de contacto que se mencionará más adelante. Se busca que los peraltes de los carriles de aceleración o desaceleración sean los mismos que los de la calzada adyacente hasta donde la línea de contacto permita cambiar poco a poco el peralte del ramal de giro, esto con el fin de

evitar cambios bruscos que afecten la maniobra de incorporación de los vehículos a la calzada principal o a ramal secundario según el caso.

En bifurcaciones existen dificultades prácticas de alcanzar el peralte sin cambios abruptos de la pendiente transversal en las terminales de las plataformas de giro, afectando la estabilidad de vehículos con altos centros de gravedad como camiones. Para esto, los diseños con curvatura gradualmente cambiante, efectuadas por el uso de espirales, permiten el desarrollo del peralte deseado de manera cómoda y segura.

4.2.1 Líneas de contacto

D

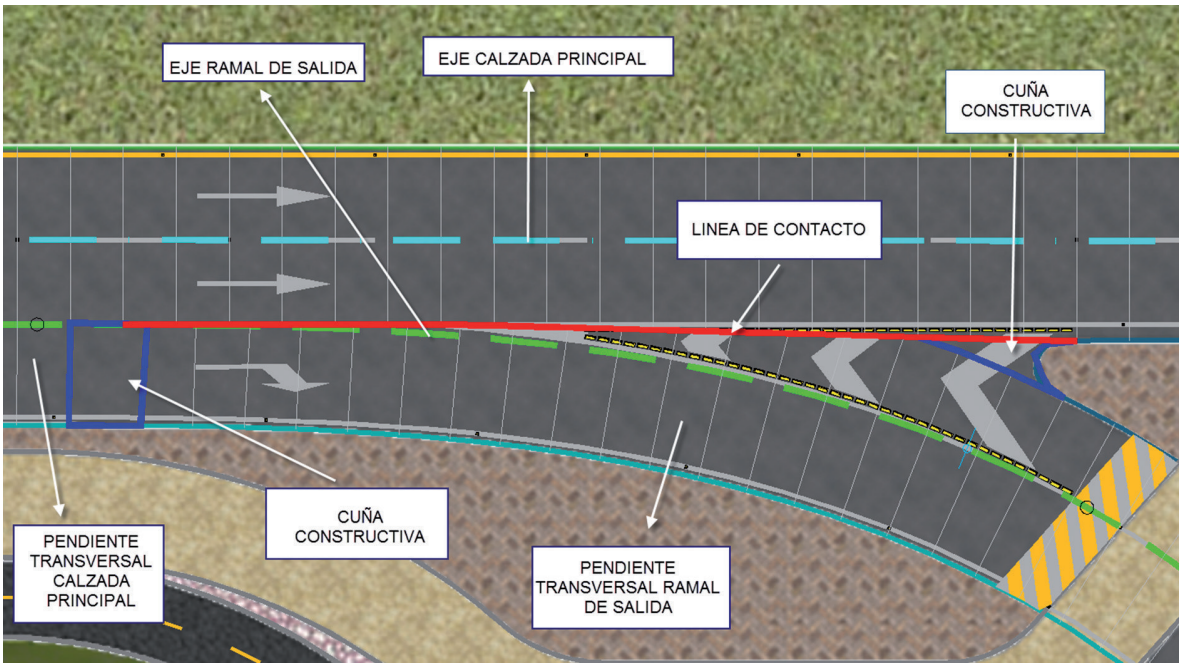
LÍNEA DE CONTACTO

Es la línea de borde de vía que es común a las dos calzadas que integran la bifurcación y que se utiliza para amarrar la parte altimétrica, sirviendo además de guía para el diseño de las rasantes.

La línea de contacto coincide parcialmente con las líneas de demarcación. Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de la línea de contacto consiste en realizar un amarre vertical de la bifurcación de modo que sobre la línea de contacto se garantice siempre la misma altura y se evite la generación de limatezas cercanas a la nariz, que afecten el drenaje y la circulación segura.

En la Figura 53 se observa la línea de contacto de una bifurcación tipo divergencia. Allí se aprecia también cómo el peralte de la calzada principal se extiende sobre el carril divergente o de desaceleración, hasta antes del inicio de la línea de contacto, punto a partir del cual se independiza el peralte del ramal de salida. Así pues, la línea de contacto amarra los dos planos (el de la calzada principal y el de la curva divergente) y se generan dos pequeñas zonas de transición en las que no es necesario disponer cotas de pavimento, ya que se constituyen como cuñas constructivas en la que las diferencias de altura son mínimas o cero.

Figura 53. Línea de contacto en una divergencia canalizada con cuña



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la descrito en el Capítulo 3, en bifurcaciones aplican criterios similares que para corredores, siendo el peralte mínimo el 2% y el máximo permitido el 8%.

Los peraltes en bifurcaciones se basan principalmente en dos criterios: la comodidad del usuario y la apariencia del borde de vía. En consecuencia, al igual que en los corredores viales, se debe mantener una relación entre las pendientes del eje de vía y la pendiente del borde de calzada.

La tasa de peralte de la bifurcación dependerá del eje del ramal divergente o convergente y se establecerá según el procedimiento explicado en el Capítulo 2, resumido en la Tabla 6: Tasas de peraltes para determinados radios, velocidades y peraltes máximos.

La Figura 54 muestra cinco casos para el tratamiento de peraltes en bifurcaciones, que incluyen curva horizontal en el ramal de salida o en el ramal principal y el de salida simultáneamente. El concepto se basa en establecer el eje de pivote para el peralte o bombeo de la calzada principal, la longitud y localización de la línea de contacto, la zona de transición del peralte en la bifurcación y la zona a partir de la cual las inclinaciones transversales de los flujos que se bifurcan y alcanzan completa independencia. Conceptualmente, los esquemas de la Figura 54 muestran un nivel de referencia e indican la forma en que los bordes de vía bajan o suben respecto a dicho nivel, como guía para el entendimiento de la inclinación transversal del conjunto.

Caso A: este caso corresponde a un ramal principal en recta, con bombeo normal a dos aguas, en el que diverge un ramal con cuña. En esta situación, el peralte de la calzada principal puede extenderse hasta la altura del punto b en donde todavía no cabe un vehículo en la cuña.

Cuando el ancho de la cuña permite albergar un vehículo, entra en juego la línea de contacto y debe empezar a involucrarse el peralte del ramal de salida de acuerdo al eje de diseño de dicho ramal, pero amarrando el borde interno a las mismas elevaciones del borde externo del ramal principal (línea de contacto – zona entre b y c). En los casos en que la curvatura de salida sea relativamente fuerte, el peralte deseado en el ramal de salida, que generalmente es mayor que en el ramal de flujo directo, podría generar limatezas notables; por lo tanto puede ser aceptable que la transición se realice en una distancia más corta, siempre y cuando la diferencia entre las velocidades específicas del principal y el divergente no superen los 20 km/h; cuándo esto suceda, deberá adicionarse el respectivo carril de desaceleración, e independizar el peralte como indican los casos B o C para lograr un tratamiento deseable del peralte.

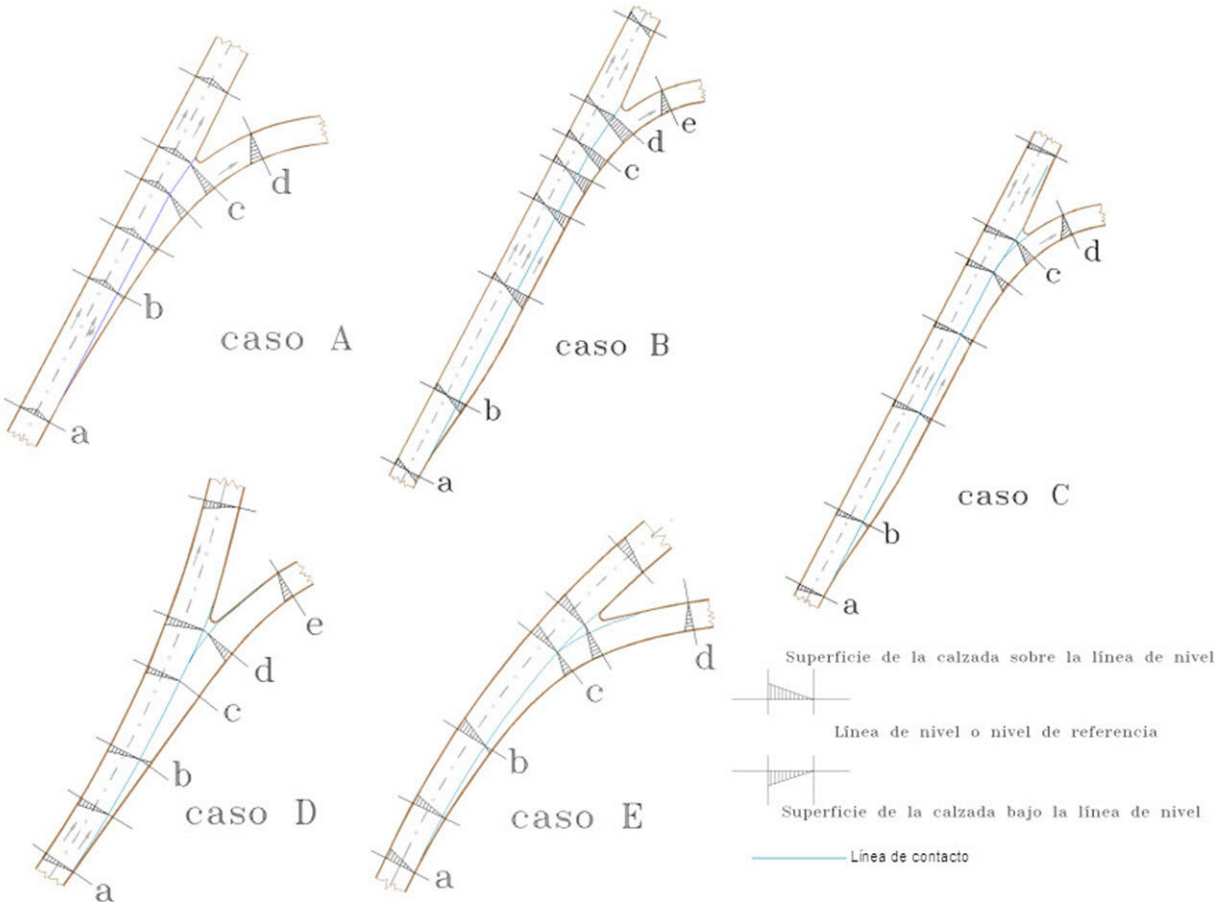
Caso B: situación referente a un ramal principal en recta, con bombeo normal a dos aguas o con inclinación completa hacia el costado del flujo divergente. En este caso, el ramal de salida incluye carril y cuña de desaceleración. Si la inclinación transversal del ramal principal favorece la transición hacia la divergencia, es posible extender el borde de vía incluyendo el carril de desaceleración, hasta el punto c. Así, la plataforma de giro mantiene el peralte hasta donde se interceptan las proyecciones del borde interno del carril de giro y el borde externo de la calzada principal sobre la línea de contacto, luego se puede independizar y realizar un cambio gradual del peralte (c a d) hasta desarrollarlo totalmente justo después de la nariz (e).

Caso C: corresponde a una variante del caso anterior, en la que la inclinación del bombeo normal en recta es hacia el costado opuesto al flujo divergente; pero, como en la situación anterior, el ramal de salida incluye carril y cuña de desaceleración. Bajo esta condición se dificulta realizar la transición del peraltado por condiciones de comodidad y seguridad vial, ya que si se extiende la inclinación trasversal a todo el tablero, la entrada a la bifurcación quedaría con peralte contrario o la transición intempestiva cerca a la nariz generaría limatezas o bateas peligrosas. Esta es una situación que debe evitarse en la construcción de proyectos nuevos, pero que puede presentarse cuando el corredor principal existe y se están realizando complementaciones o mejoras, asociadas al ramal secundario; en este caso es conveniente generar una línea de contacto desde el inicio del carril de desaceleración (b), y mantener una inclinación transversal propia desde a hasta d, amarrada por el borde interno a las elevaciones del flujo principal.

Caso D: se trata de una bifurcación con cuña, en la que el ramal principal y el de salida poseen curvas horizontales con sentidos contrarios en la zona de la bifurcación. En este caso se repiten los inconvenientes del caso anterior, con el agravante de que el ramal principal no solo tiene inclinación contraria, sino que además incluye peralte. En este sentido, lo recomendable es incorporar el carril de desaceleración e independizar el peraltado, como se explicó en el caso C. Si por diferencia específica de velocidades el carril adicional no se requiere (diferencia menor a 20 km/h), es aconsejable que la cuña se forme geométricamente mediante un tramo recto antes de la curva de salida para que la transición del peralte no interfiera con el peralte del ramal principal, sino que comience lentamente desde antes de la nariz siendo desarrollado la mayoría del peralte más allá de la misma, desde e hasta después de e.

Caso E: se trata de una bifurcación con cuña, en la que el ramal principal y el de salida poseen curvas horizontales con sentidos iguales en la zona de la bifurcación. Puede manejarse como el caso B, independizando el peralte solo hasta después de c.

Figura 54. Ejemplos de desarrollo de peraltes en bifurcaciones



Fuente: Elaboración propia.

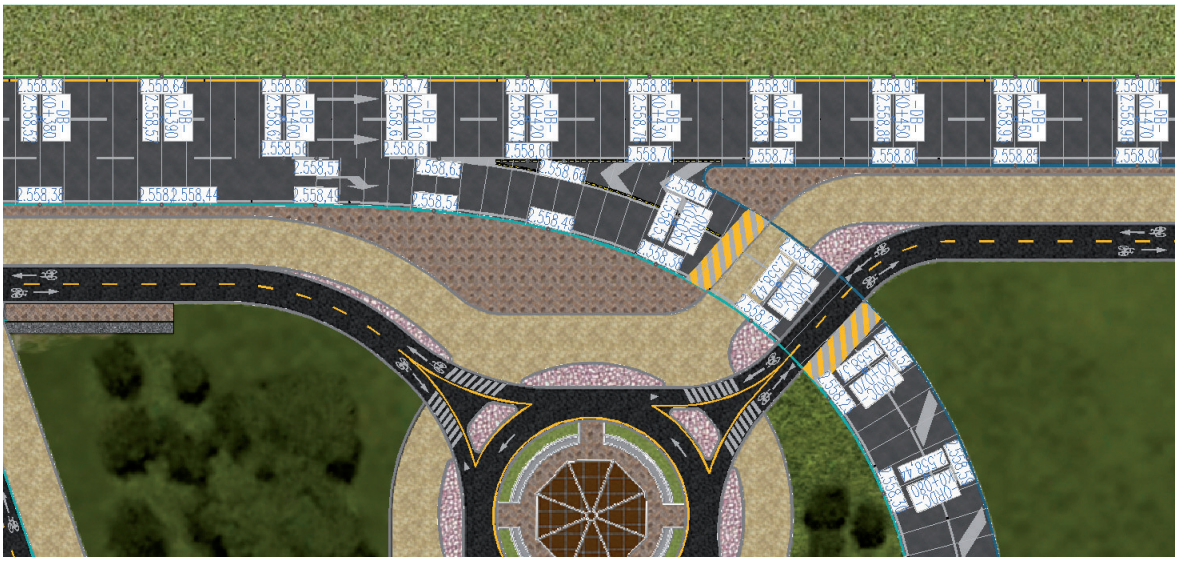
Es importante anotar que los ejemplos de transición de peraltes mostrados en la figura se aplican a convergencia, cambiando los detalles de las isletas.

4.2.2 Cotas de pavimento

En las bifurcaciones, la disposición de cotas de pavimento por eje y por bordes es fundamental para que la construcción sea fiel al diseño. Además, es necesario que las líneas de contacto que se hayan generado cuenten también con cotas cada 5 m como mínimo, para clarificar el manejo de la transición del peralte.

En la Figura 55 se presentan las cotas de pavimento de borde y de eje en una divergencia para tomar una oreja de una intersección tipo trébol que presenta paso de peatones y ciclistas.

Figura 55. Cotas de pavimento en bifurcación



Fuente: Elaboración propia.

4.3 CONSIDERACIONES DE VISIBILIDAD

En el ingreso de las bifurcaciones, el conductor debe tener un campo visible delante de él que le permita detenerse y evitar una colisión ante cualquier tipo de obstáculo que aparezca en el camino.

En el caso de las intersecciones canalizadas, las isletas se deben diseñar de manera que siempre estén visibles para el conductor y que no se conviertan en obstáculos, para ello, se debe acompañar con pintura y delineadores de obstáculos además de un buen diseño.

Los carriles de desaceleración deben proyectarse de manera que den al conductor una indicación clara del lugar en dónde se separan de la corriente principal, lo que se logra, tanto con una superficie de color contrastante como con señalización e iluminación.

Además de la obligatoriedad de garantizar las distancias de visibilidad de parada y decisión, y que las pendientes y longitudes de curva satisfagan los requerimientos estipulados para tal fin en el Capítulo 3, es recomendable evitar la coincidencia de bifurcaciones con curvas verticales convexas, pues en esta situación la visibilidad de los ramales puede reducirse y aumentar la exposición al riesgo de accidentalidad.

5. INTERSECCIONES DE PRIORIDAD Y SEMAFORIZADAS

A continuación se desarrollan algunas recomendaciones a considerar en el diseño planimétrico y altimétrico de intersecciones con ceda el paso, pare o semáforo.

5.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS

En el diseño geométrico de Intersecciones, intervienen diferentes elementos los cuales condicionan el tamaño y la forma de la intersección. En este sentido, el diseñador debe de analizar el impacto en la zona del proyecto de cada uno de los elementos que se mencionan a continuación:

5.1.1 Ejes de diseño

Deberán realizarse bajo las especificaciones señaladas en el Capítulo 3.

5.1.2 Carriles

- **Directos**

  Los carriles directos deben contener una geometría que permita a los vehículos seguir su trayectoria sin necesidad de realizar maniobras forzadas con el fin de evitar obstáculos propios de geometrías no alineadas. Los ejes de diseño de los ramales deben tener las siguientes características:

  Los anchos de los carriles directos corresponden a los presentados en las secciones establecidas en el POT, sin embargo, en intersecciones es posible que estos anchos aumenten de acuerdo con lo requerido por el vehículo de diseño para poder realizar cualquier maniobra permitida dentro de la intersección.

  Deben ser, en lo posible, rectos y tener continuidad en el ramal siguiente con el objetivo de no generar un cuello de botella al ingresar al ramal y posibles turbulencias que afectarán el tránsito general de la intersección.

- **Carriles de aceleración**

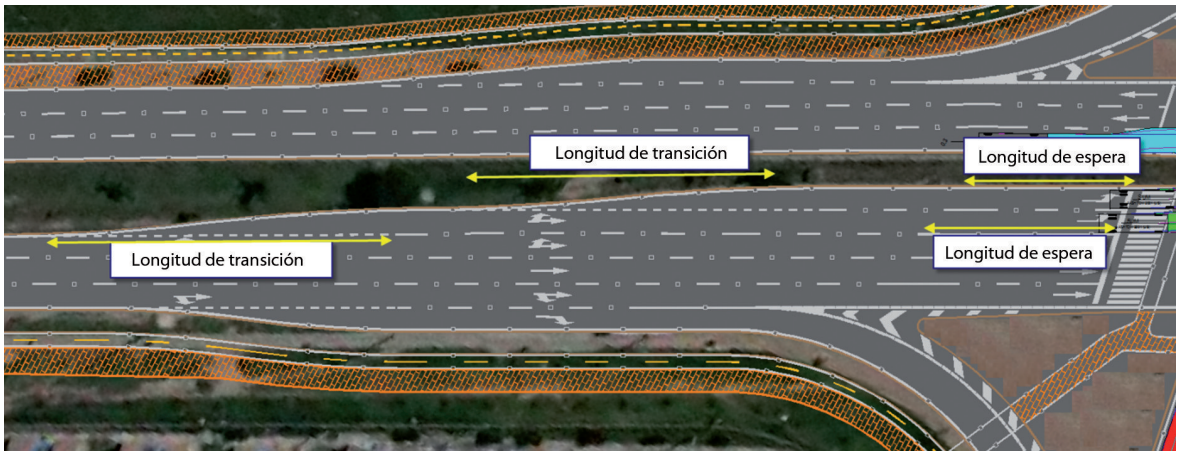
  Tienen por objeto permitir que los vehículos que provengan de en un enlace puedan aumentar su velocidad hasta alcanzar la de la calzada principal, a la cual convergen. Serán paralelos a la calzada principal. Están compuestos de una cuña y un carril de aceleración, que debe cumplir con las especificaciones descritas en el numeral 4, relativo a las consideraciones geométricas para el diseño de bifurcaciones. Las distancias que se muestran en la Tabla 2, deberán ser corregidas por la inclinación longitudinal que tengan. Las correcciones se calculan sobre el valor total de la Longitud Total (Lt), pero la longitud que se modifica será la Longitud del carril de aceleración (La), mientras la Longitud de la Cuña (Lc) permanecerá constante.

- **Carriles de desaceleración**

  Tienen por objeto permitir que los vehículos que vayan a ingresar en un ramal de salida o a un ramal de enlace puedan reducir su velocidad hasta alcanzar la de la calzada secundaria.

Carriles de giro canalizado a la derecha

Figura 56. Tipos de carriles en intersecciones



Fuente: Elaboración propia.

Los carriles de giro derecho canalizado son aquellos que permiten realizar la maniobra por fuera de la zona de cruce, mediante una isleta o zona dura; su función es separar el movimiento de giro a la derecha, para otorgar algunas ventajas a la intersección.

Dentro de dichas ventajas pueden encontrarse: otorgar mayor fluidez al cruce pues el giro derecho se puede realizar en cualquier fase semafórica, aumentar la permeabilidad de la red, generar zonas de resguardo intermedias para albergar peatones, diferenciar líneas de flujo y definir las prioridades de circulación y mejorar los indicadores de operación del tránsito, entre otros aspectos.

Las características geométricas de los giros derechos canalizados dependen, por una parte, de la configuración de los carriles de aceleración y desaceleración, en función de los criterios y normas ya descritos, y por otra, del ancho otorgado a la calzada de giro. Tal ancho dependerá del radio interior del enlace y de la ocupación del vehículo de diseño; además deberá señalizarse con un único carril, teniendo presente que si la longitud canalizada es mayor a 60 m, se requerirá garantizar espacio para sobrepasar un vehículo estacionado. El Manual de Diseño Geométrico del INVIAS del año 2008 define anchos entre 4.50 y 6.20 para carril sencillo y entre 6.00 y 9.50 cuando se requieren zonas de sobrepaso. La variación está en función del radio y la trayectoria del vehículo con el que se esté diseñando la corriente vehicular.

Adicionalmente, en la configuración geométrica de los carriles de giro derecho, debe tenerse en cuenta que la isleta canalizadora debería tener un área mínima de 7.0 m^2 sin tener en cuenta el espacio que requerirían las canalizaciones para ciclistas. Así mismo, es recomendable que ningún lado de la isleta tenga menos de 2.5 m de longitud.

- **Carriles de giro izquierdo**

  Los giros izquierdos son una maniobra que al interior de la intersección encuentra conflicto con otros movimientos y usuarios de la vías; es así como el giro izquierdo es conflictivo con el flujo que cruza la vía transversalmente, el flujo que viene en sentido contrario y los peatones y ciclousuarios que cruzan la vía en la salida de la intersección, así como por los giros izquierdos provenientes de otros accesos.

  La decisión de permitir el giro izquierdo en una intersección debe ser vista de forma integral dentro del corredor o red que se está diseñando; con ello se busca mitigar el impacto que tenga el giro sobre otros flujos y permitir a la vez la permeabilidad y conectividad de la red.

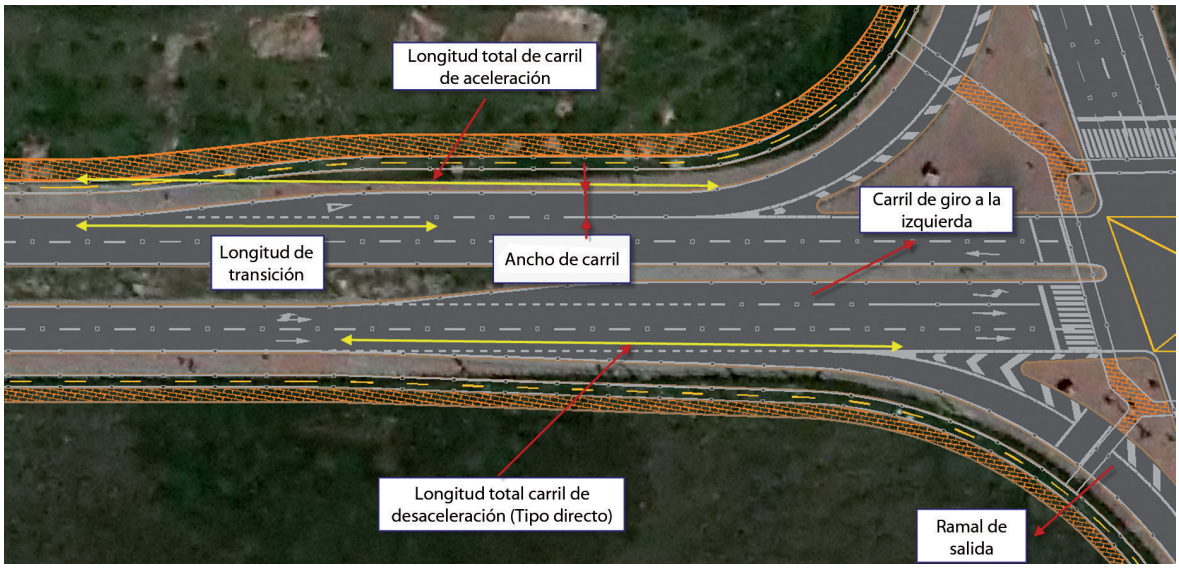
  De igual forma, la presencia del giro izquierdo cobra importancia en vías con altos flujos vehiculares y de modos no motorizados, siendo generalmente regulados a través del control semafórico. En vías locales o de bajos volúmenes es común encontrar todos los movimientos, razón por la cual la señalización del sitio debe regular de forma clara los movimientos permitidos y prevenir a transeúntes y demás vehículos sobre la presencia de giros y sentidos de circulación.

  En intersecciones semaforizadas, los carriles de giro izquierdo se sitúan sobre el separador central e incluyen una longitud de espera que depende del número de vehículos por hora que giran y que debe considerarse, si existe una condición de parada al final de la zona de desaceleración, lo cual generalmente ocurre (MINVU, 2009). Si existe un semáforo, la longitud de almacenamiento o espera debe ser igual al largo de la cola de vehículos que esperan un ciclo semafórico, que según la Federal Highway Administration, deberá ser entre 1.5 a 2.0 veces la longitud de colas promedio.

La configuración geométrica de los carriles de giro a la izquierda depende fundamentalmente de los volúmenes de tránsito a albergar. Si bien, un carril de giro izquierdo también está compuesto por una cuña de transición y un carril de desaceleración, primará la longitud que se requiera por acumulación de vehículos, por encima de la que se requiera para desacelerar, en caso de que ésta última sea menor. En conclusión, deberá respetarse la longitud de cuña y para la longitud del carril, estimar la cantidad de vehículos en cola para la fase semafórica.

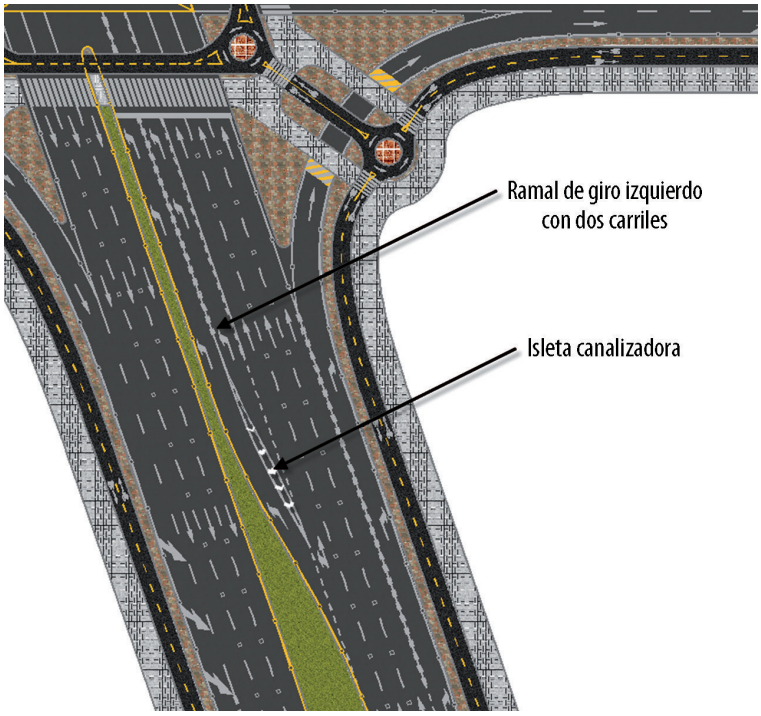
Es posible que el estudio de tránsito arroje que la longitud total del carril de giro izquierdo sea muy larga o se tengan inconvenientes de espacio, en estos casos es posible implementar dos carriles de giro izquierdo paralelos, los cuales deben cumplir con la distancias mencionadas en la Tabla 4, además de la longitud de espera que determine el estudio de tránsito. En las Figuras 57 y 58 se ilustra una intersección con dos carriles de giro izquierdo.

Figura 57. Ramal con dos carriles de giro izquierdo A



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Ramal con dos carriles de giro izquierdo B



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al ancho de los carriles de giro, se recomienda que tengan 3.5 m en todos los casos. Además deberá garantizarse que el ancho del separador excedente en la zona del carril de giro sea como mínimo de 2.0 m para que no se convierta en una "aguja" colisionable y para que permita albergar a los peatones que cruzan la intersección de forma segura. Esto indica

entonces, que en intersecciones con separadores centrales de menos de 5.5 m de ancho no es recomendable habilitar giros izquierdos canalizados y que por lo tanto, deberán evaluarse otras alternativas como giros manzana, eliminación del movimiento, trompetas a nivel, entre otras.

Dentro de las propuestas para el desarrollo de intersecciones viales a nivel, especialmente de giros izquierdos, debe considerarse la conformación de manzanas – orejas, teniendo en cuenta que este tipo de soluciones son alternativa para desarrollar intersecciones viales en donde la ciudad se encuentra totalmente construida y la adquisición de los predios se torna en un factor importante a la hora de generar suelo disponible para la implantación de soluciones viales.

5.1.3 Isletas

D

Las isletas son elementos básicos para el manejo y separación de conflictos y áreas de maniobras en las intersecciones. Las isletas son zonas ubicadas entre los carriles de circulación, cuyo objeto es guiar el movimiento de los vehículos, servir de refugio a los peatones y proporcionar una zona para la ubicación de la señalización y la iluminación (siempre y cuando lo permitan los triángulos de visibilidad). Las isletas también pueden ser formadas por un área delineada sobre el pavimento siempre y cuando no exista presencia de peatones o ciclousuarios en la zona. En la implementación de isletas pintadas sobre el pavimento se recomienda el uso de tachones y delineadores tubulares que cumplan la función canalizadora.

Los bordes de las isletas deben servir de guía óptica para el conductor mientras éste realiza cualquier maniobra dentro de la intersección. Deben estar señalizados para advertir al conductor de su presencia y evitar así que se conviertan en objetos colisionables.

Las isletas además cumplen otras funciones como:

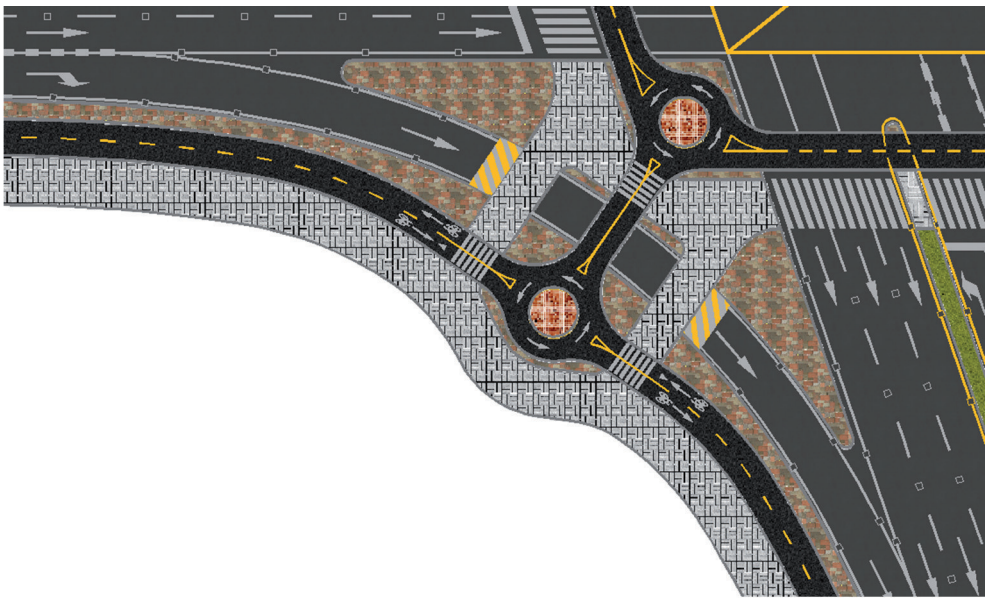
Separar conflictos.
Controlar el ángulo del conflicto.
Reducir el área de pavimento proveyendo más espacio público.
Favorecer giros predominantes.
Prohibición de algunos movimientos.
Control de velocidad.

TIPOS DE ISLETAS

- **Direccionales:** por lo general son de forma triangular y su uso permite controlar y dirigir movimientos del tráfico en áreas pavimentadas muy espaciosas, éstas separan los movimientos de los vehículos que giran a la derecha o a la izquierda del resto del tráfico vehicular
- **Divisoras:** dividen flujos vehiculares que viajan en distinta o en la misma dirección; cerca de las intersecciones otorga ventajas de construcción de carriles de espera y por ende la posibilidad de giros izquierdos direccionales.
- **Islas de Refugio peatonal:** se sitúan en la cercanía de sectores de mayor flujo peatonal y sirven para proteger al peatón.

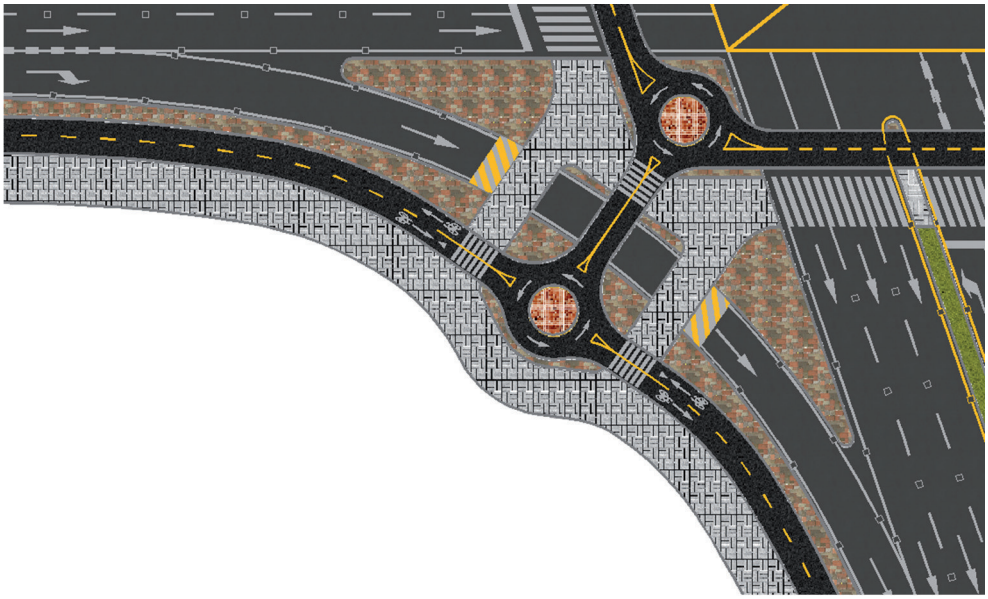
Cuando una intersección cuenta con isletas, el borde interno debe ser proyectado de modo que se garantice el ancho mínimo de carril, el cual no debe ser menor de 4.5 m, cuidando siempre, que la rueda del vehículo de diseño pase aproximadamente a 60 cm del borde del sardinel. Véase Figura 59.

Figura 59. Algunos parámetros de diseño en isletas



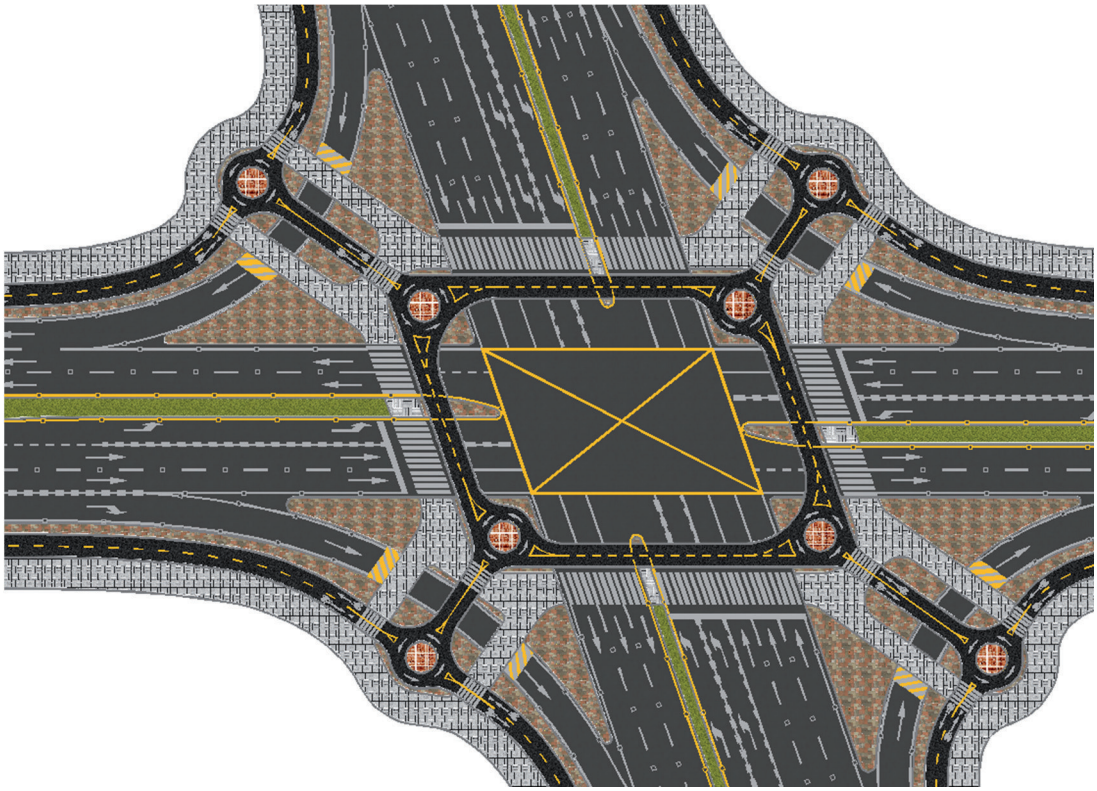
Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Isleta en intersección de dos vías arteriales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Disposición de isletas en una intersección semaforizada con giros derechos canalizados



Fuente: Elaboración propia.

- **Anchos:** el ancho mínimo de las isletas que dividen flujos vehiculares opuestos en áreas urbanas es de 2.5 m. Este ancho permite alojar cómodamente una persona mientras espera el turno para poder atravesar la intersección.
- **Áreas Mínimas:** el área mínima recomendada para una isleta sin tránsito de ciclistas es de 7.0 m^2. En todo caso la dimensión de las isletas estará condicionada por los tratamientos para el tránsito y la espera peatonal y de ciclistas.
- **Geometría:** como se observa en la Figura 59, las isletas deben estar separadas de los bordes de vía entre 0.6 m y 1.0 m; además en la nariz de Ingreso se requiere de un desplazamiento que no debe ser mayor a 1.2 m metros, que permitirá la salida segura de un vehículo de la zona de divergencia en caso de bloqueo del ramal de salida, sin motivar la formación de carriles adicionales que generen zonas de abocinamiento. Sumado a esto es importante mencionar que el borde interno de la isleta tiene una geometría diferente al borde de vía, ya que este se debe acomodar a la trayectoria del vehículo de diseño, utilizando las concatenaciones que más se asemejen a la ocupación real del movimiento.
- **Nariz:** las narices corresponden a los extremos o puntas que se forman en las isletas; éstas se deben diseñar de modo que se permita a un vehículo que ha ingresado a un carril de desaceleración de manera errónea, salirse sin que la nariz se convierta en un obstáculo, sumado a esto, la nariz debe poseer una forma redondeada con un radio de 0.6 m en el caso que corresponda a una salida o de 1.0 m en el caso de un ingreso. Como un complemento a la geometría descrita anteriormente, se recomienda utilizar pequeñas separaciones del borde de vía (entre 0.3 m y 0.5 m), con el fin de mejorar la visibilidad. En el caso de proyectos de autopistas urbanas se requiere el uso de bermas laterales.

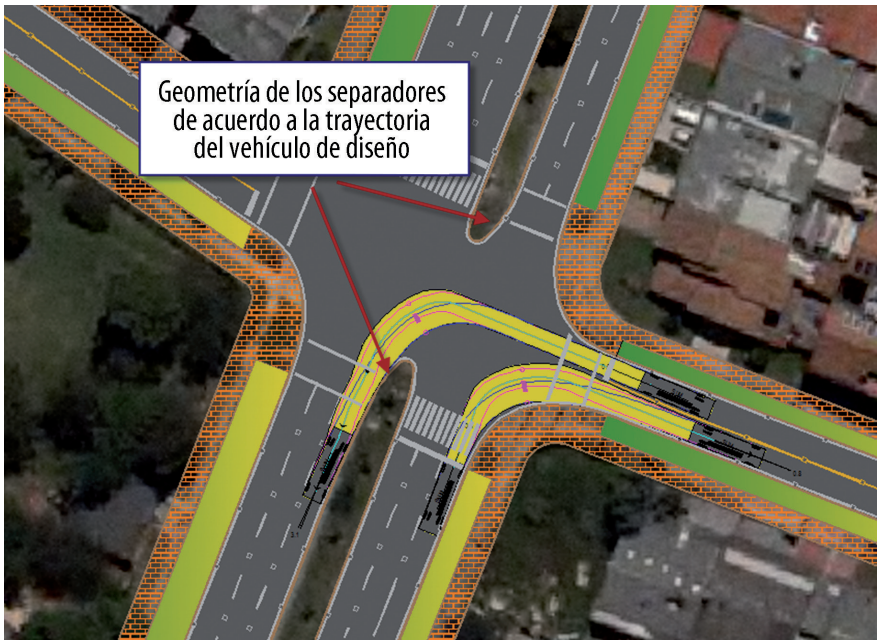
5.1.4 Separador central

En una intersección, la punta del separador central no se debe de proyectar más allá de la línea de borde de calzada de la vía que pasa perpendicular, siendo recomendable que incluso este 1 m antecedida a la zona antibloqueo.

El ancho mínimo de un separador debe ser de 2 m, de manera que sirva de resguardo peatonal, además de proveer espacio adicional suficiente para la instalación de mobiliario urbano, iluminación, señalización y otros elementos para la regulación y el control del tránsito vehicular y peatonal. En el caso que se requiera adicionar un carril para permitir el giro izquierdo, el separador central deberá tener un ancho mínimo de 5.5 m (3.5 m de carril + 2.0 m de zona de protección peatonal).

Las puntas de los separadores deben estar a una distancia de separación de 0.6 m de la trayectoria vehicular, además la geometría del separador debe ser paralela a la trayectoria que requiere el vehículo de diseño cuando están realizando maniobras direccionales, de modo que estas puntas no se conviertan en obstáculos físicos y obliguen a los conductores a invadir carriles adyacentes.

Figura 62. Trayectorias de vehículos en los bordes de los separadores



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Retornos

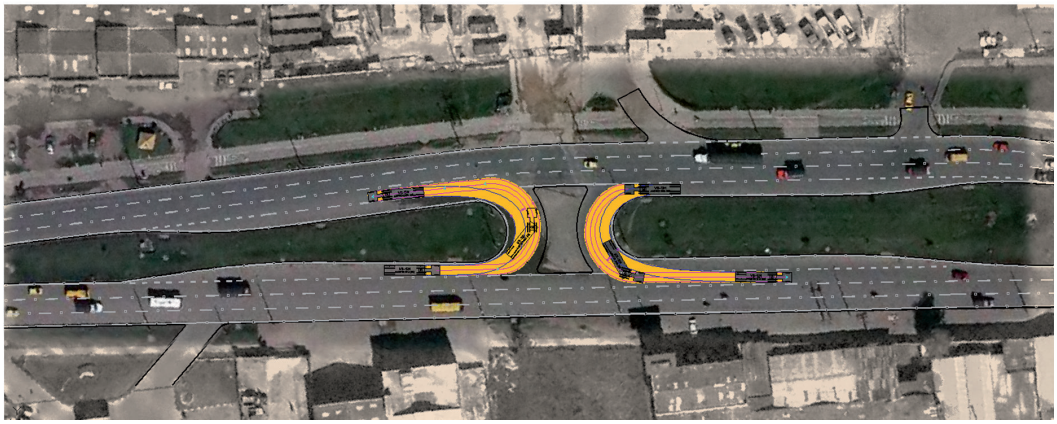
En el diseño geométrico de los bordes de los retornos se debe garantizar que el vehículo de diseño elegido no tenga que realizar maniobras forzados o invasiones de carriles adyacentes de modo que se afecte la seguridad y la operación de los usuarios de la vía. En este orden de ideas se debe buscar concatenaciones que asimilen la trayectoria mínima del vehículo de diseño (Véase Capítulo 2 - Vehículos de Diseño) y que además garanticen los sobreanchos requeridos, faciliten la operación de los vehículos en curva y eviten invasiones de los vehículos al (los) carril (es) adyacente(s), siendo recomendadas las concatenaciones de tipo ECT, TCE y E-C-C-E.

En la parte superior de la Figura 63 se observa la situación actual de un retorno hecho con curvas circulares que permite la incorporación segura del vehículo de diseño y obliga la invasión del carril adyacente para poder efectuar la maniobra. En la parte inferior de la Figura 63 se observa un retorno hecho con todas las consideraciones geométricas y el cual permite que la trayectoria del vehículo de diseño salga de forma segura al carril de aceleración del retorno.

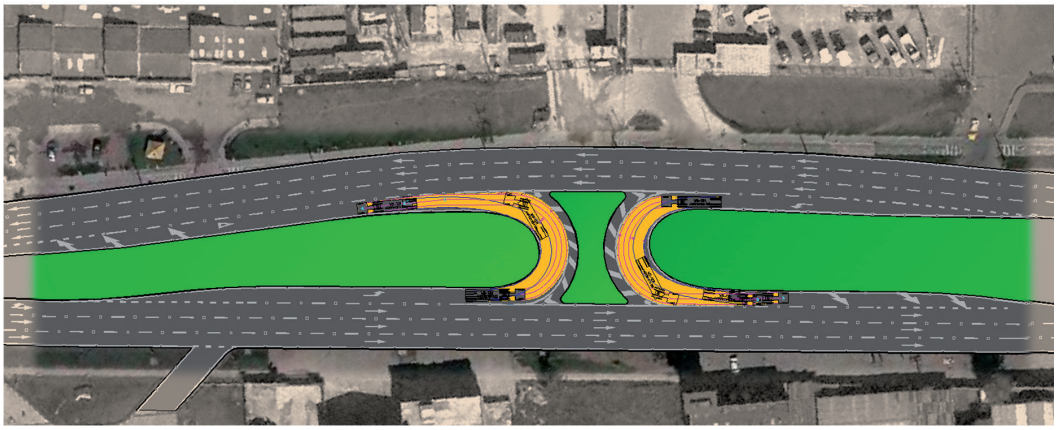
Es importante resaltar que el borde del separador debe de ir a mínimo 0.6 m de la trayectoria de las ruedas del vehículo, garantizando así comodidad en el mismo. Sumado a esto se debe garantizar el sobreancho que necesite el vehículo de diseño y señalizar de modo que en el espacio disponible pueda circular un único vehículo.

Figura 63. Trayectorias vehiculares en retornos. Situación actual y situación con proyecto

Diseño actual con concatenaciones circulares



Diseño con concatenaciones E-C-T Y T-C-E que semejan la trayectoria del vehículo



Fuente: Elaboración propia.

5.2 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD

En las intersecciones semaforizadas y con control de Pare o Ceda el Paso, deberán evitarse las combinaciones de línea de pendientes que dificulten el control de los vehículos y el incumplimiento de las distancias de visibilidad necesarias a lo largo de las dos vías que se cruzan; en consecuencia se recomienda que en una intersección las pendientes de la vía sean tan planas como sea posible, especialmente en las zonas destinadas a almacenar vehículos.

En zonas de cruce a nivel, la configuración altimétrica dependerá fundamentalmente de la jerarquía de las vías a empalmar. Si ambas vías tienen jerarquías semejantes la zona de cruce deberá desarrollarse como un plano o superficie formada con las elevaciones de ejes y bordes de vía, presentes justo antes de la zona antibloqueo, de las vías que se entrecruzan. Para lograr la mayor homogeneidad en dicha superficie es importante que todos los ramales se aproximen al cruce con pendientes semejantes, en lo posible inferiores al 4%. Cuándo alguno de los ramales posea pendientes mayores, el tratamiento deberá realizarse como si se tratara de empalmes para jerarquías funcionales diferentes.

Cuando la prioridad de los ramales en el cruce es diferente, bien sea por la sección transversal, o porque la altimetría (pendientes y curvas verticales) favorece más o menos a ciertos movimientos, la configuración de la superficie en la zona de cruce estará gobernada bien sea por el mayor perfil o por el movimiento altimétricamente favorecido. Así, las cotas de pavimento se presentarán de forma continua para la(s) corriente(s) principales, y las intersecciones con los demás ramales se empalmarán a través de líneas de contacto, como si se tratara de convergencias y divergencias.

Las pendientes máximas permitidas en proyectos nuevos estarán gobernadas por las disposiciones descritas en el Capítulo 3 en la Tabla 20, la cual establece rangos desde 4% hasta 18%. Por su parte, la longitud de las curvas verticales, recomendada de 12 m como mínimo, dependerá de lo establecido en el mismo capítulo, Tabla 21, revisando que se cumplan los criterios de visibilidad que se mencionarán más adelante. En proyectos existentes que incluyan parámetros críticos menores a los recomendados deberán implementarse medidas de señalización, pacificación del tránsito, canalizaciones y definición clara de prioridades que mitiguen los impactos de la exposición al riesgo de accidentalidad.

En resumen, la configuración altimétrica de las intersecciones con Pare, Semáforo y Ceda el Paso dependerá de una definición clara de las prioridades de circulación, no solo por el ancho de la sección, sino por las condiciones topográficas y de visibilidad. Se configurarán grandes superficies demarcadas por las cotas de pavimento antes del cruce (en la bocacalle), cuando la prioridad es la misma para todos los ramales, o cuñas de empalme a un flujo principal, cuando las prioridades y facilidades de circulación sean diferentes.

En cuanto a la configuración altimétrica de los giros derechos e izquierdos canalizados, estos deberán diseñarse siguiendo todas las recomendaciones para el diseño de rasantes, y teniendo en cuenta que las isletas y separadores pueden usarse para absorber diferencias de altura y adaptarse mejor al terreno, siempre y cuando se asegure el tránsito y la espera de peatones y ciclousarios. Por su parte, las zonas de empalme se diseñarán con los criterios expuestos en la sección de bifurcaciones.

La distancia de visibilidad en una intersección debe ser tal que permita a los conductores percibir la presencia de vehículos, peatones y ciclistas, y anticipar la reacción al potencial conflicto. Esto debe ocurrir en un tiempo suficiente para que un conductor pueda detenerse o ajustar su velocidad, según el caso, para no chocar en la intersección. La distancia también debe permitir a los conductores que se encuentran detenidos, una visibilidad suficiente para decidir en qué momento realizar la maniobra de giro o de cruce en la intersección de forma segura y cómoda. Si la distancia de visibilidad disponible para los conductores que circulan por la vía de mayor importancia y que se aproximan a una intersección es al menos, igual a la distancia de parada, los conductores tendrán la suficiente distancia de visibilidad para anticipar o evitar colisiones. Sin embargo, en algunos casos esto puede requerir que los vehículos que circulan por la de mayor importancia tengan que disminuir su velocidad o tengan que parar para que los vehículos que circulan por la vía de menor importancia puedan realizar la maniobra de giro o de cruce; por lo tanto se sugiere que sea en lo posible mayor.

Por otra parte (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011) proporciona los procedimientos para determinar los diferentes tipos de distancia de visibilidad en intersecciones, los cuales se mencionan a continuación:

- Intersecciones sin control en sus ramales (situación teórica base de la metodología).
- Intersecciones con control en el ramal de menor jerarquía.
- Intersecciones con CEDA EL PASO con control en el ramal de menor jerarquía.
- Intersecciones con control de señales de tráfico.
- Intersecciones con control semafórico.
- Con giro a la izquierda sobre la vía de mayor importancia.

No obstante, antes de entrar a describir cada caso, se requiere conocer el concepto de triángulo de visibilidad el cual se desarrolla a continuación:

5.2.1 Triángulo de visibilidad

Los triángulos de visibilidad están determinados por un área que se encuentra a lo largo de la vía en la aproximación a una intersección; estas zonas deben estar libres de obstáculos que puedan bloquear el camino del usuario y la visión del tráfico. Las dimensiones de este triángulo se determinan a partir de la velocidad de diseño de los ramales que se intersectan, la geometría de la intersección, el tipo de tránsito que circula en la intersección y el tipo de control que posee la misma. Existen dos clases de triángulos de visibilidad que se utilizan en cada intersección: triángulos de visibilidad de aproximación y triángulos de visibilidad de salida.

Los triángulos de visibilidad de aproximación se aplican cuando el conductor de una vía secundaria está en movimiento. Por su parte, los triángulos de salida se utilizan cuando el conductor que transita por la vía de menor importancia acelera desde la posición de parada.

Lo ideal es que dentro de los triángulos de visibilidad no existan obstáculos que impidan la visibilidad del conductor de los vehículos que se aproximan, como por ejemplo edificios, vegetación, barreras longitudinales o muros de contención, mobiliario urbano, entre otros.

Para el análisis de estos triángulos de visibilidad se debe tener en cuenta la alineación tanto vertical como horizontal de las vías que se cruzan y cualquier obstrucción. Para fines de diseño el ojo del conductor se estima en 1.08 m por encima de la rasante de la calzada, y el objeto que se utiliza para el diseño se aproxima a la altura de un vehículo el cual también se supone de 1.08 m por encima de la calzada.

A continuación se explican los diferentes casos de visibilidad en intersecciones que se presentan en áreas urbanas y se recomiendan las distancias de visibilidad a diferentes velocidades de diseño.

CASO 1. Intersecciones sin ningún control en sus ramales

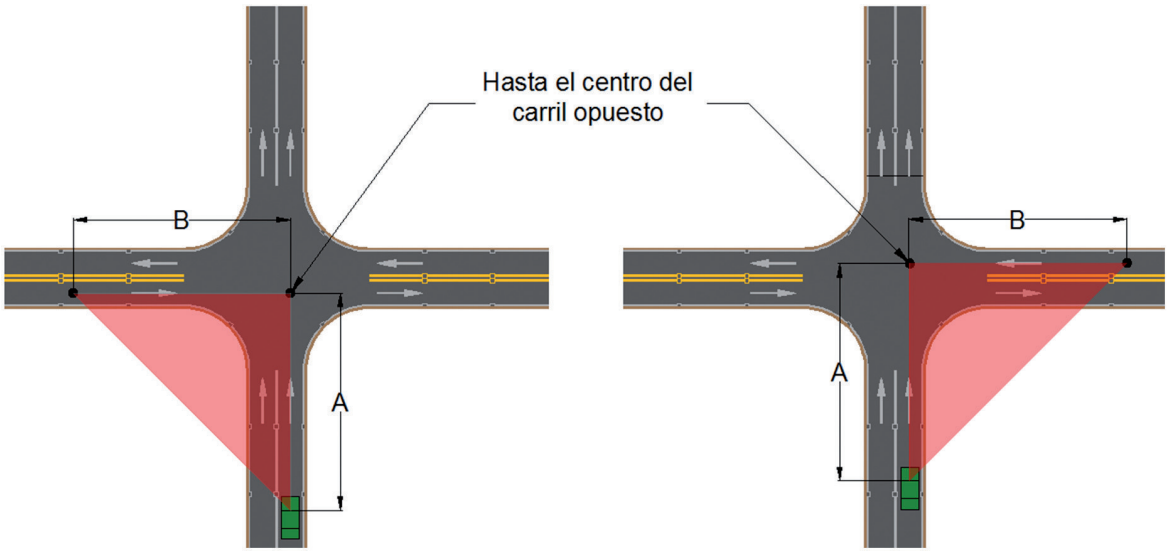
Este caso en el que la intersección no posee ningún tipo de control (PARE, CEDA EL PASO, o SEMÁFORO) es la situación teórica, hipotética, en la que se basa la metodología para definir las distancias mínimas, pero no constituye un ejemplo a seguir en la ciudad de Bogotá, en donde por seguridad vial, las prioridades de circulación vehicular deben estar claramente definidas y los controles deben favorecer el acceso y el paso de peatones y ciclistas, presentes en la mayoría de los cruces de la capital colombiana.

Este caso se ilustra en la Figura 64 en donde la distancia A es la requerida por la vía de menor importancia mientras que la distancia B es la requerida por la vía de mayor jerarquía, estas distancias están soportadas en una velocidad de diseño dada y en el tiempo el conductor percibe y reacciona ante la presencia de otro vehículo (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011).

Por ejemplo, basándose en una intersección de un corredor principal con una velocidad de diseño de 60 km/h con una calle de menor importancia, diseñada con una velocidad de 30 km/h, se requerirá una distancia de visibilidad mínima de 56 m en la calle de mayor jerarquía y 26 m mínimo en la de menor. En todo caso, es claro que estos son parámetros mínimos de referencia, pues un cruce con estas velocidades definitivamente debe tener un control de prioridades claramente definido, a favor de la seguridad vial de motorizados y no motorizados.

Si la calle de menor jerarquía tuviese una pendiente después de la intersección de 6% ésta necesitaría una distancia de visibilidad de 29 m, cálculo derivado de un factor de ajuste de 1.1 debido a la pendiente que se presenta.

Figura 64. Triángulo de visibilidad caso 1



Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

Tabla 6. Distancias de visibilidad Caso 1 para intersecciones sin ningún control

Velocidad de diseño (Km/h)	Longitud de visibilidad mínima de las dos calles tanto principal como secundaria(A y B) (m)
25	22
30	26
40	35
50	44
60	56

Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

Tabla 7. Factor de ajuste para las distancias de visibilidad debido a la pendiente

Velocidad de diseño (Km/h)	Pendiente aproximada (%)						
	-6	-5	-4	-3 a +3	4	5	6
25-30	1.1	1	1	1	1	1	1
40-50	1.1	1.1	1	1	1	1	0.9
50-60	1.1	1.1	1.1	1	1	0.9	0.9

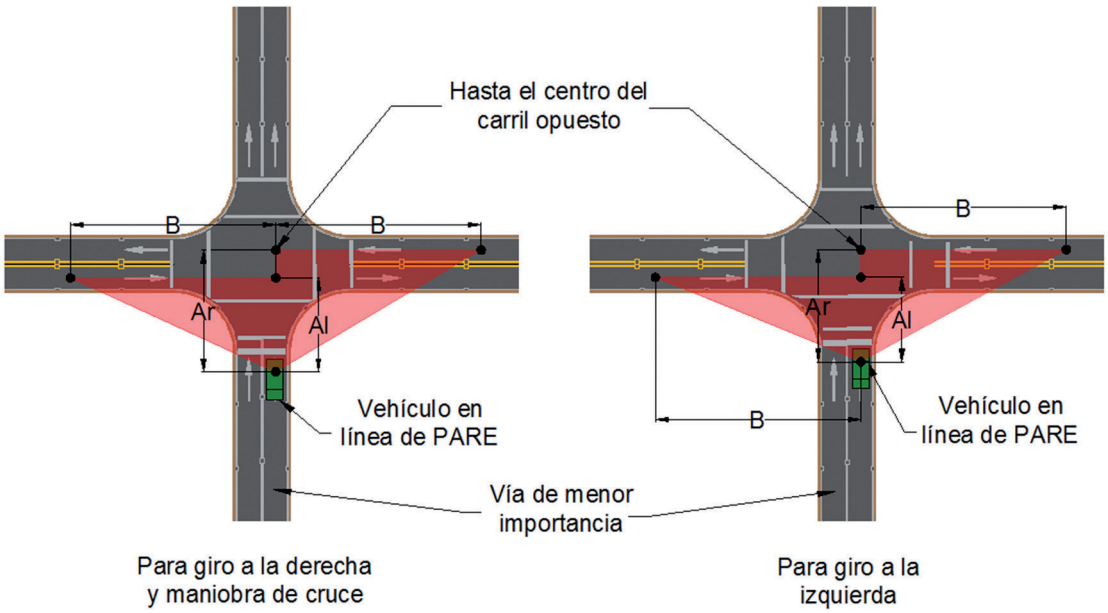
Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

CASO 2. Intersección con PARE en la vía de menor importancia

En una intersección con PARE ubicada en la vía de menor importancia, el conductor debe poder observar vehículos que circulan sobre la calle principal a una distancia suficiente que le permita realizar la maniobra de cruce o de giro de forma cómoda y segura:

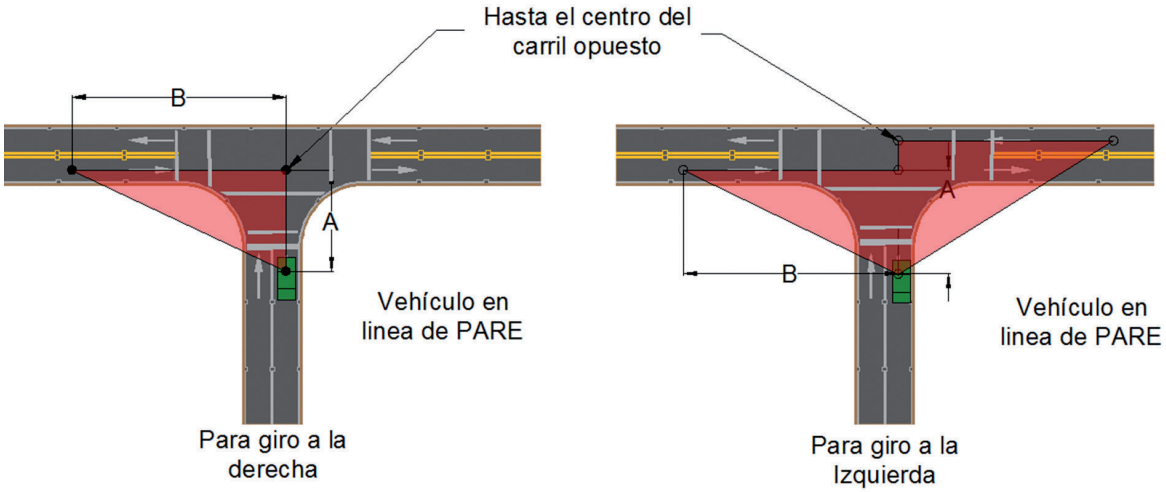
- CASO 2A: con giro a la izquierda controlada con PARE sobre la vía de menor jerarquía.
- CASO 2B: con giro a la derecha controlado con PARE sobre la vía de menor jerarquía.
- CASO 2C: maniobra de cruce con PARE sobre vía de menor jerarquía.

Figura 65. Triangulo de visibilidad caso 2



Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

Figura 66. Triangulo de visibilidad caso 3



Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

Tabla 8. Distancias de visibilidad caso 2, intersecciones con señal de PARE

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia de aproximación a la derecha medida sobre la vía de menor importancia (Ar en metros)	Distancia de aproximación a la izquierda medida sobre la vía de menor importancia (Al en metros)	Distancia B sobre la vía de mayor importancia para giro izquierdo (metros)	Distancia B sobre la vía de mayor importancia para giro derecho (metros)
25	1	7	5	5
30	1	7	6	5
40	1	7	9	7

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia de aproximación a la derecha medida sobre la vía de menor importancia (Ar en metros)	Distancia de aproximación a la izquierda medida sobre la vía de menor importancia (Al en metros)	Distancia B sobre la vía de mayor importancia para giro izquierdo (metros)	Distancia B sobre la vía de mayor importancia para giro derecho (metros)
50	1	7	1	9
60	1	7	1	1

Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

CASO 3A. Intersección con control de CEDA EL PASO en la vía de menor importancia

En este tipo de intersección, el conductor que transita por la vía de menor importancia está autorizado a girar o a cruzar la intersección sin que tenga que parar si no hay vehículos cercanos que se aproximen a la intersección y puedan provocar un conflicto.

En general, una intersección controlada con CEDA EL PASO necesita amplias distancias de visibilidad para garantizar que los conductores prevean la posibilidad de conflicto antes de llegar a la intersección y tomar la decisión de parar o realizar la maniobra de cruce o de giro.

Se recomienda que estas distancias se verifiquen y se cumplan incluso para casos con Pare, ya que en la idiosincrasia del conductor bogotano, el pare no refleja una reducción a 0 km/h de la velocidad, sino una reducción más similar al efecto de ceder el paso. En este sentido, las distancias de la siguiente tabla deben tenerse en cuenta de manera primordial, para eliminar la disposición de elementos que obstaculicen la visibilidad en el triángulo señalado para cada velocidad.

Tabla 9. Distancias de visibilidad caso 3, intersecciones con señal de ceda el paso

Velocidad de diseño (Km/h)	Cruzar la intersección sin detenerse (señal de ceda el paso)		Girar a la derecha e izquierda sin detenerse (señal de ceda el paso)	
	Vía de menor importancia (A)(metros)	Vía de mayor importancia (B)(metros)	Vía de menor importancia (A)(metros)	Vía de menor importancia(B) (metros)
25	24	46	25	57
30	29	56	25	69
40	40	73	25	90
50	51	92	25	113
60	67	110	25	136
70	81	127	25	157
80	98	146	25	180
90	114	163	25	200
100	132	181	25	223
110	157	199	25	245
120	178	218	25	268

Fuente: Elaboración propia con base en (MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department, 2006).

Nota: las velocidades mayores a 60 Km/h aplican para calcular distancias de visibilidad en convergencias con ceda el paso en vías arteriales.

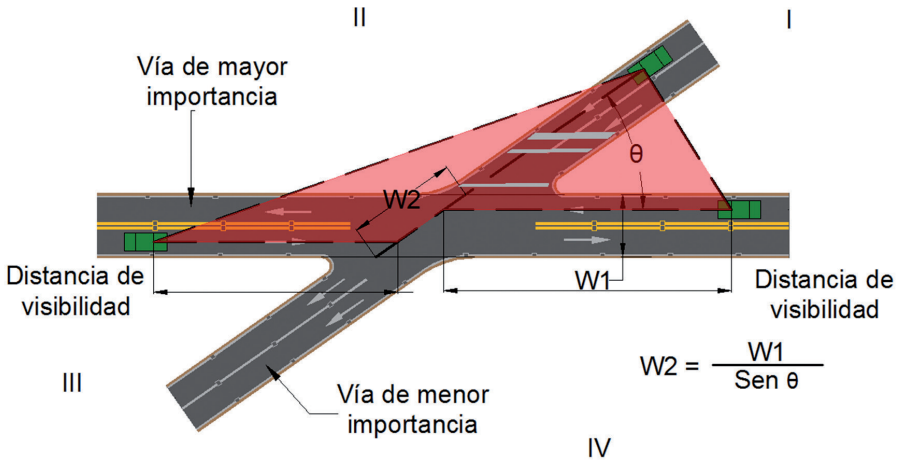
Ajuste a intersecciones sesgadas (aplica para pare, ceda el paso o semáforo, basado en TTA, Texas Transportation Institute, 2003).

Cuando las calzadas se intersectan con ángulos inferiores a 60 grados y la realineación de aumentar el ángulo de la intersección no está justificada, algunos de los factores para la determinación de la distancia de visibilidad pueden necesitar ajuste por razones como:

En una intersección con ángulo oblicuo, la longitud de las trayectorias vehiculares para algunas maniobras de giro y de cruce debe incrementarse. La distancia total para la maniobra de giro o cruce puede calcularse dividiendo el ancho tal de calzada (incluyendo el separador, si es el caso) entre el seno del ángulo de la intersección entre ramales. Si la longitud requerida para la maniobra supera los anchos totales de los carriles que son atravesados en más de 3.7 metros, es necesario ampliar la sección transversal para garantizar que los conductores puedan realizar la maniobra de giro y de cruce con completa visibilidad.

Por otra parte, cabe resaltar que los conductores que ingresan a la intersección por el ramal de menor importancia incrementan su visibilidad para ingresar a la intersección en los cuadrantes II y III. Sin embargo, en los cuadrantes I y IV los conductores están obligados a girar su cabeza para tener una visibilidad óptima y así poder realizar la maniobra de cruce o de giro.

Figura 67. Triángulo de visibilidad para intersecciones sesgadas



Fuente: Elaboración propia con base en (TTA, Texas Transportation Institute, 2003).

CASO 3B. Intersecciones tipo glorieta normal (con control de ceda el paso)
El análisis de este caso se presenta en la Sección 6 Intersecciones Anulares.

CASO 4. Intersecciones semaforizadas
En las intersecciones semaforizadas el primer automóvil que se detiene en la señal de rojo debe ser visible para todos los conductores de los demás ramales. En algunas intersecciones, el giro a la derecha es permitido con la señal de semáforo en rojo; para esta situación se utiliza la distancia de visibilidad del caso 2B correspondiente al giro derecho.

En cuanto al giro izquierdo, los conductores deben tener suficiente distancia de visibilidad en la calzada opuesta, para poder seleccionar una brecha y realizar la maniobra; estas distancias de visibilidad se pueden encontrar en el caso 2B, en la columna correspondiente al giro izquierdo.

CASO 5. Intersecciones controladas con PARE en todos sus ramales

En las intersecciones señalizadas con PARE en todos sus ramales, el primer vehículo que se detiene sobre cualquiera de los ramales deberá ser visible para cualquiera de los vehículos que se aproximan y se detienen en la intersección. Esta opción es aplicable en intersecciones que presentan topografías difíciles o distancias de visibilidad limitadas por otras razones.

CASO 6. Giro a la izquierda sobre la vía de mayor importancia

Los conductores que giran a la izquierda en una vía de doble sentido requieren de una suficiente distancia de visibilidad para que determinen cuándo tienen brecha suficiente para poder realizar la maniobra de giro izquierdo.

En general, si se mantiene la distancia de visibilidad de parada continuamente sobre la vía de mayor importancia, ésta será adecuada para los giros izquierdos que se presenten. Sin embargo, si los ramales de la intersección o entradas de vehículos ubicadas en o cerca de la intersección poseen una curva horizontal o cresta vertical sobre la vía principal; la disponibilidad de una adecuada distancia de visibilidad para los giros a la izquierda deberá ser revisada por separado. A continuación en la Tabla 10, se presentan las distancias de visibilidad recomendadas por (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011).

Tabla 10. Distancias de visibilidad para giros a la izquierda desde la vía de mayor importancia

VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	DISTANCIA DEL RAMAL DEL TRIÁNGULO (m)
20	32
30	47
40	62
50	78
60	93

Fuente: Elaboración propia con base en (AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011).

5.3 CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO

Para contar con un diseño que sea el apropiado bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, es necesario elaborar el análisis operativo de la intersección que permita evaluar la bondad del diseño concebido. Se espera que a este nivel de detalle del diseño, haya finalizado la etapa de análisis en red para el corredor o corredores que se están diseñando, siendo así que la intersección a evaluar ya tendrá definidas características tales como el número de brazos o ramales, sentidos de circulación y jerarquía de las vías que se entrecruzan, con lo cual el análisis de tránsito

deberá aportar elementos que determinen el tipo de control, necesidades de canalización o de carriles de giro izquierdo o derecho.

5.3.1 Consideraciones acerca de la semaforización

Desde el punto de vista del tránsito, las intersecciones semaforizadas son, junto a las anulares, la última opción para el manejo de intersecciones a nivel; de este modo, si se atiende solamente a las consideraciones de operación del tránsito, una intersección semaforizada es la solución tomada para una intersección que al operar por prioridad ya no satisface las demandas de tránsito vehicular o peatonal prevalecientes.

No obstante, la decisión final de regular con el control semafórico una intersección debe estar basada en un análisis integral que considere desde las condiciones de tránsito hasta las de seguridad vial.

De acuerdo con Cal & Mayor y Cárdenas (Cal & Mayor; Cardenas, James, 2007) un semáforo o sistema de semáforos que opere correctamente presenta las siguientes ventajas:

- Ordena la circulación del tránsito y, en muchos casos, mediante una asignación apropiada del derecho al uso de la intersección, optimiza la capacidad de las calles.
- Reduce el riesgo de cierto tipo de accidentes.
- Bajo ciertas condiciones se puede lograr la circulación continua a una velocidad aceptable en corredores semaforizados.

Igualmente, si no se cuenta con un sistema de semáforos o intersección semaforizada bien diseñada se puede incurrir en graves desventajas que atentan contra la seguridad vial y el aumento de la congestión dada la mala operación del control semafórico.

De acuerdo con el documento de revisión del Manual de Señalización Vial (consultado en febrero de 2013) existen seis requisitos para justificar la instalación de un semáforo:

- Condición A: volumen mínimo de vehículos: De acuerdo con el volumen en los accesos principales, se justifica o no la necesidad de semaforización.
- Condición B: interrupción del tránsito continuo: "Se entiende que es para ser aplicada donde las condiciones de operación de una vía sean tales, que el tránsito de la vía secundaria sufra un retardo o riesgo indebido al entrar en la vía principal o al cruzarla "(Corporación Fondo de Prevención Vial y Ministerio de Transporte, 2012)."
- Condición C: volumen mínimo de peatones.
- Condición D: movimiento o circulación progresiva: para regular eficientemente las velocidades de grupos compactos de vehículos y la operación de semáforos adyacentes.
- Condición E: accidentes. Según registro de accidentes en la intersección.
- Condición F: combinación de las condiciones anteriores.

En Colombia, el Manual de Señalización Vial de Calles, Carreteras y Ciclorrutas elaborado por el Ministerio de Transporte, especifica la información necesaria para adelantar un estudio de tránsito encaminado a determinar la necesidad de semaforizar una intersección, dicha información corresponde a las condiciones mínimas que se consideran suficientes para decidir acerca de la semaforización de una intersección. No obstante, simultáneo al desarrollo de esta guía, se está desarrollando por parte del Ministerio de Transporte y la Corporación Fondo de Prevención Vial, una actualización al Manual de Señalización, que incluye cambios en lo referente a semaforización, los cuales aún están en discusión. Por lo tanto, en relación con este tema, deberá acudirse a la normatividad para entonces vigente.

En este sentido, a modo de información general se resume el listado de requerimientos y las condiciones para semaforizar una intersección, invitando igualmente a consultar el citado manual correspondiente.

Tabla 11. Requerimientos información y condiciones para semaforización

INFORMACIÓN A RECOLECTAR	CONDICIONES PARA LA INSTALACIÓN	
Número de vehículos que ingresan a la intersección por cuartos de hora y por cada vía de acceso en un periodo de 16 horas consecutivas de tres días representativos.	Volumen mínimo de vehículos: Cuando la razón está dada por el volumen del tránsito intersectante en cada una de las ocho horas de un día representativo.	Combinación de condiciones anteriores: Combinación de las anteriores en al menos el 80% de los valores especificados en cada condición.
	Interrupción al tránsito continuo: Donde las condiciones de operación de una calle secundaria sufra un retardo o riesgo indebido al entrar a la calle principal.	
El volumen de vehículos para cada movimiento vehicular desde cada vía de acceso clasificado por tipo de vehículo durante cada periodo de 15 minutos de las dos horas de máxima demanda en la mañana y la tarde.	Volumen mínimo de peatones: Si entran de 1200 a más vehículos en la intersección o 1600 o más entran en la calle principal cuando existe un separador con ancho mínimo de 1,2 m, en un periodo de dos horas. Si durante el mismo periodo pico cruzan 250 a más peatones en el cruce de mayor volumen.	
Volumen peatonal en periodos de 15 minutos por cada cruce durante las horas de máxima demanda vehicular y de máxima intensidad de circulación de peatones.		
Velocidad del percentil 85 de todos los vehículos en los accesos a la intersección no controlados y la medición del promedio de detenciones por vehículo antes de cruzar la intersección.	Circulación progresiva: Necesidad de regular eficientemente las velocidades de grupos de vehículos.	
Reporte de accidentalidad.	Experiencia sobre accidentes.	

Fuente: Elaboración propia con base en (Corporación Fondo de Prevención Vial; Ministerio de Transporte, 2004, 2012).

Complementariamente, el diseño de la intersección semaforizada debe estar basado en un estudio integral de la red vial, que considere un ordenamiento del tránsito que optimice la operación de la red e incorpore la solución a flujos no motorizados.

5.3.2 Disposición de giros izquierdos

En este sentido, para el caso de intersecciones semaforizadas se encuentran en la literatura diversas sugerencias sobre la disposición de giros izquierdos, la Federal Highway Administration señala que está decisión se basa principalmente en el volumen del giro izquierdo y el volumen

del flujo opuesto. Los giros izquierdos exclusivos deben ser analizados sí su volumen es mayor al 20% del volumen del acceso o superior a 100 vehículos por hora y carriles de giro adicionales cuando el volumen de giro es mayor a 300 vehículos por hora (FHWA, Federal Highway Administration, 2004).

Algunas consideraciones importantes en la disposición del giro izquierdo son:

- Jerarquía vial
  De acuerdo con la jerarquía vial en la intersección, el giro izquierdo puede derivar en altas demoras, es común optar por trasladar el giro al flujo que cruza la intersección transversalmente a través de conectantes o con la red vial secundaria; no obstante deben considerarse las particularidades de cada caso según las cuales pueda ser mejor permitir el giro izquierdo en la intersección.

- Regulación semafórica
  Al permitir el giro izquierdo se aumentan las fases en el control semafórico, a la vez que pueden aumentarse los tiempos de seguridad y la longitud de cruce para los modos no motorizados, esto genera directamente el incremento de las demoras para otros flujos.

- Registros de accidentalidad
  La diferencia en velocidad, entre los flujo directos y los de giro, pueden generar choques traseros entre los vehículos que buscan continuar directo y aquellos que frenan para la maniobra de giro, si los registros de accidentalidad reportan tales accidentes debe considerarse la necesidad de carriles de giro adicionales (FHWA, Federal Highway Administration, 2004).

- Conectividad
  Con la disposición de giros izquierdos, se logra aumentar la permeabilidad y conectividad de la red vial, evitando conflictos propios de pasar los flujos motorizados por sectores residenciales o con mayor presencia de peatones.

- Presencia de peatones
  Según sea el diseño de la intersección, la presencia del giro izquierdo puede aumentar el riesgo para los peatones que entran en conflicto con la maniobra de giro. Por esta razón se debe realizar un análisis integral entre las áreas de tránsito, diseño geométrico y paisajismo con el fin de brindar alternativas en donde se garantice siempre la seguridad del peatón.

- Presencia de separador – diseño intersección
  Como ya se mencionó, algunas características del diseño en la intersección y la presencia del separador pueden ser aprovechadas para la inclusión de giros izquierdos; se puede por tanto disponer de carriles de giro al reducir el ancho del separador o generar un desfase entre los carriles de giro de los flujos que se enfrentan, permitiendo diversos diseños del plan de señales.

- Canalización
  En algunos casos puede resultar conveniente canalizar los giros izquierdos, con lo que se logra definir claramente las líneas de flujo, mejorar la visibilidad para el giro, permitir flujos izquierdo en la misma fase y prevenir cambios de carril inesperados o formación de

colas adicionales a las dispuestas en la intersección (FHWA, Federal Highway Administration, 2004).

- Giros en U
  En la disposición del giro izquierdo debe prestarse atención a la posibilidad de incentivar el giro en U, aunque en ciertos casos esto puede ser adverso a las condiciones de seguridad vial y debe ser estrictamente regulado para prevenir aumento de accidentalidad o presencia de congestión por maniobras inadecuadas de vehículos de gran envergadura.

Cabe considerar que el manual de señalización (Corporación Fondo de Prevención Vial; Ministerio de Transporte, 2012) dispone que la señal de prohibido girar a la izquierda habilita también la prohibición al giro en U. Por su parte la señal reglamentaria que prohíbe el giro en U se emplea cuando el giro en "U" puede ocasionar entorpecimiento a los flujos de tránsito, el radio de giro sea reducido o la maniobra constituya un factor de riesgo. Al instalar esta señal no se está prohibiendo el giro a la izquierda.

En consecuencia, el analista de tránsito deberá realizar las evaluaciones necesarias que junto con el diseño geométrico aseguren la apropiada operación de los accesos y la intersección, tratando, en lo posible, de no incentivar los giros en U. Dentro de los análisis a realizar figuran:

- Definición de la longitud de almacenamiento, la cual se deriva del análisis de longitudes de colas. Según la Federal Highway Administration, esta longitud deberá ser entre 1.5 a 2.0 veces la longitud de colas promedio.
- Necesidades de canalización.
- Reparto de fases para el caso de intersecciones semaforizadas.

5.3.3 Disposición de giros derechos canalizados

Varias de las consideraciones expuestas para el caso de giros izquierdos son aplicables para la definición de giros derechos, siempre y cuando se preste atención al manejo de ciclousuarios, peatones y personas con movilidad reducida.

Los giros derechos, cuando los volúmenes son altos, pueden derivar en la afectación de las condiciones de seguridad y operación de la intersección (FHWA, Federal Highway Administration, 2004). Tal situación obedece a que los vehículos que buscan girar a la derecha bloquean el paso de los que tratan de continuar directo, aumentando el riesgo de accidentes por colisión trasera.

Bajo estas consideraciones, el hecho de generar el carril de giro derecho permite aumentar la capacidad de la intersección y disminuir el riesgo de colisiones traseras; no obstante, la decisión debe abarcar integralmente la solución para los modos no motorizados y los dispositivos de control de la intersección.

Finalmente, el análisis de tránsito debe orientarse en el mismo sentido que se comentó en el caso de los giros a izquierda.

5.4 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS

Es importante mencionar que el cruce peatonal se realiza de la siguiente forma:

a) Cruce espontaneo.
b) Paso por sendero demarcado.
c) Cruce regulado por semáforo, con cebra, cambio de textura o pompeyano.

De acuerdo al tipo de cruce que se permite o se da por parte de los peatones, se presentan las siguientes ventajas y desventajas:

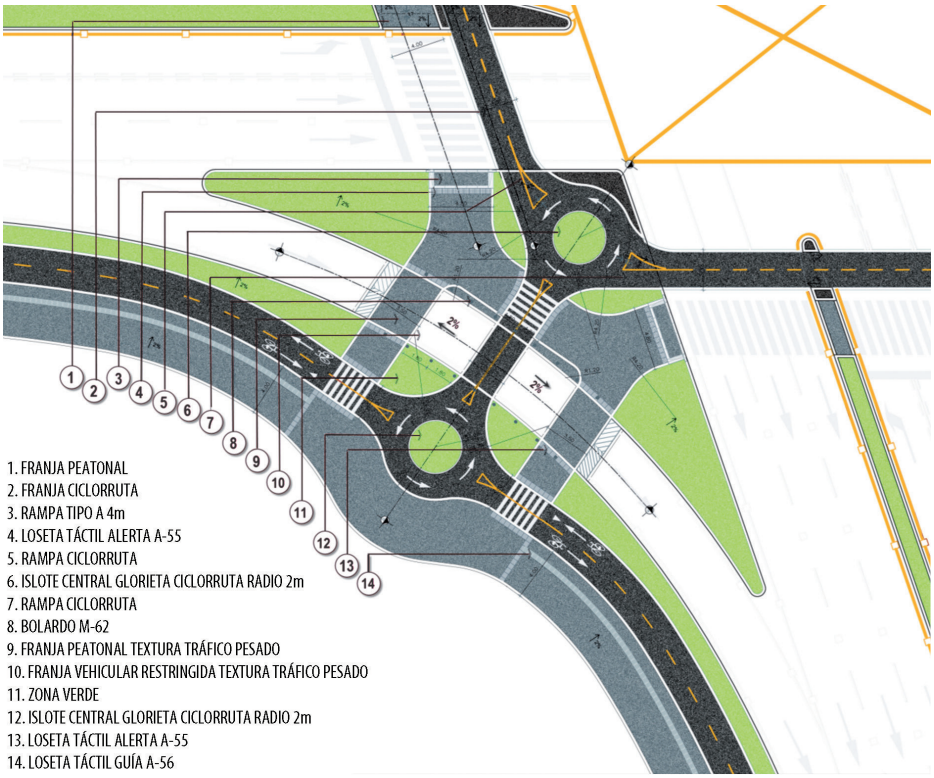
- El cruce espontaneo: generalmente se hace para acortar distancia entre dos puntos, el peatón busca resguardo generalmente en las zonas verdes o separadores y hace el cruce en 2 o más tiempos. Se requiere habilidad de peatón y pericia para hacer con rapidez la maniobra. Este tipo de cruce no se debe permitir en zonas urbanas, para poder desmotivar este tipo de maniobras a riesgo de los peatones, se debe ofrecer una infraestructura peatonal completa, que satisfaga todos los orígenes y destinos, en lo posible haciendo uso de la ruta más corta.

- El paso por sendero: va complementado en algunos casos con rampas de empalme entre niveles, es identificable y reconocido por peatones y conductores. Una posible desventaja es la baja legibilidad de las marcas de señalización (lo cual se remedia con mantenimiento periódico). Se utilizan en zonas escolares y en las bocacalles controladas con pare. No se recomienda este tipo de cruce en corredores arteriales.

- El paso controlado por semáforo, con cebra, o con pompeyano: permite el flujo peatonal continuo; el ancho del paso debe ser proporcional al flujo de peatones que circula por hora en el sector. Se recomienda para cualquier tipo de jerarquía con volúmenes peatonales mayores a 200 en 15 minutos.

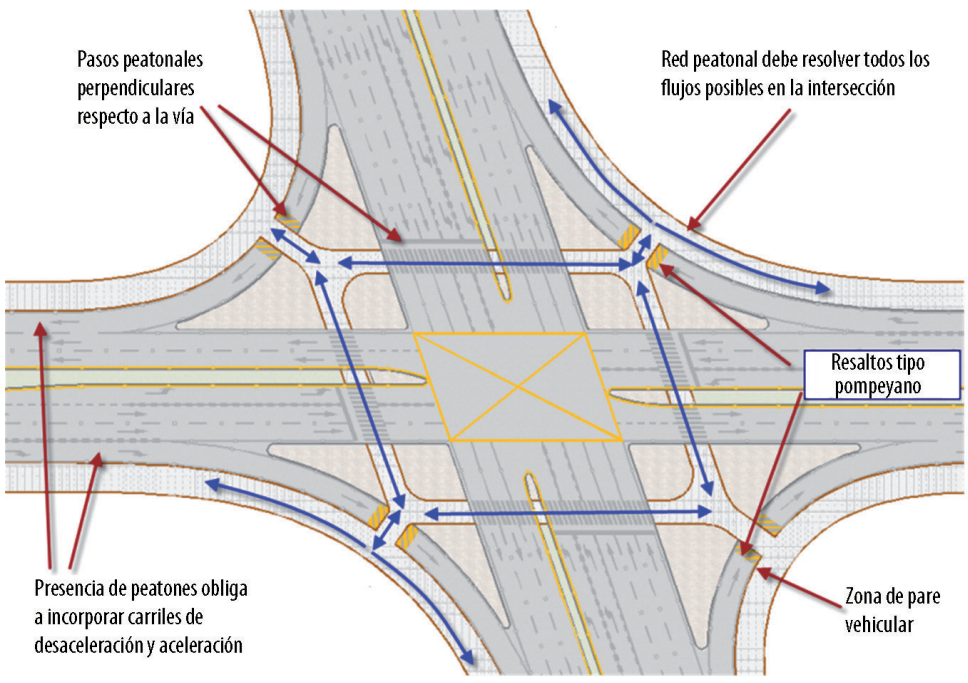
La movilidad en intersecciones a nivel reguladas por semáforos está condicionada por aspectos como el manejo de los tiempos peatonales en la semaforización que garanticen el paso seguro de los mismos y el cumplimiento de los criterios, normas y recomendaciones del diseño geométrico de corredores vehiculares. Estas características se complementan con la implementación de espacios públicos amplios, seguros, delimitados y con superficies regulares de modo que se puedan utilizar para el tránsito y resguardo de peatones y ciclousuarios. En la Figura 68 se muestra el detalle de una esquina, para el manejo de la red peatonal y de ciclorruta en una intersección semaforizada. Por su parte, la Figura 69 muestra diferentes esquemas para el manejo e integración de los modos no motorizados en una intersección arterial con semáforo.

Figura 68. Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal, para intersecciones semaforizadas



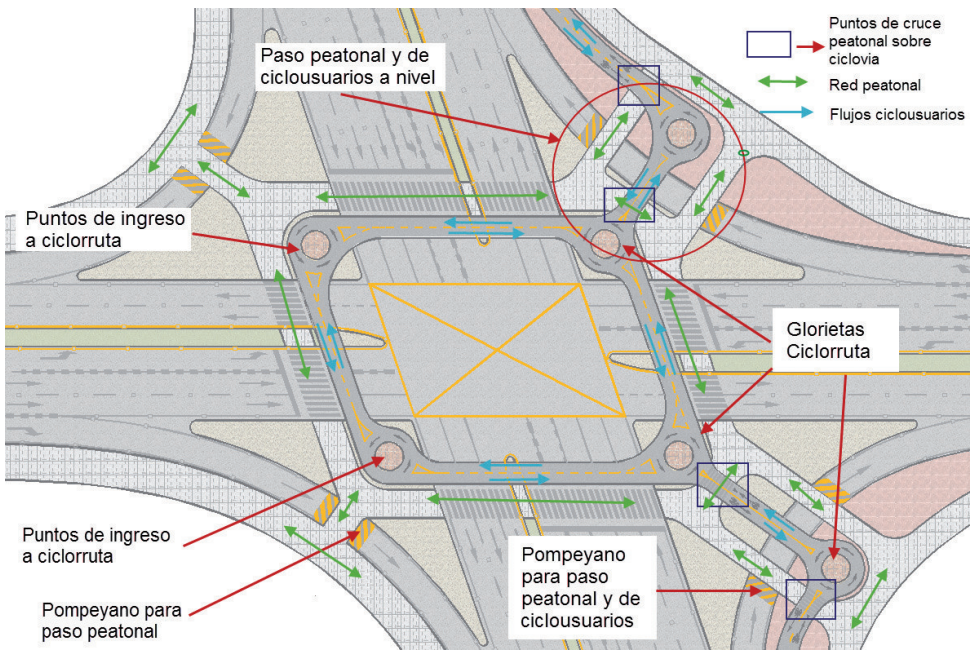
Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S

Figura 69. Diferentes tipos de manejo peatonal y de ciclousuarios para intersecciones semaforizadas



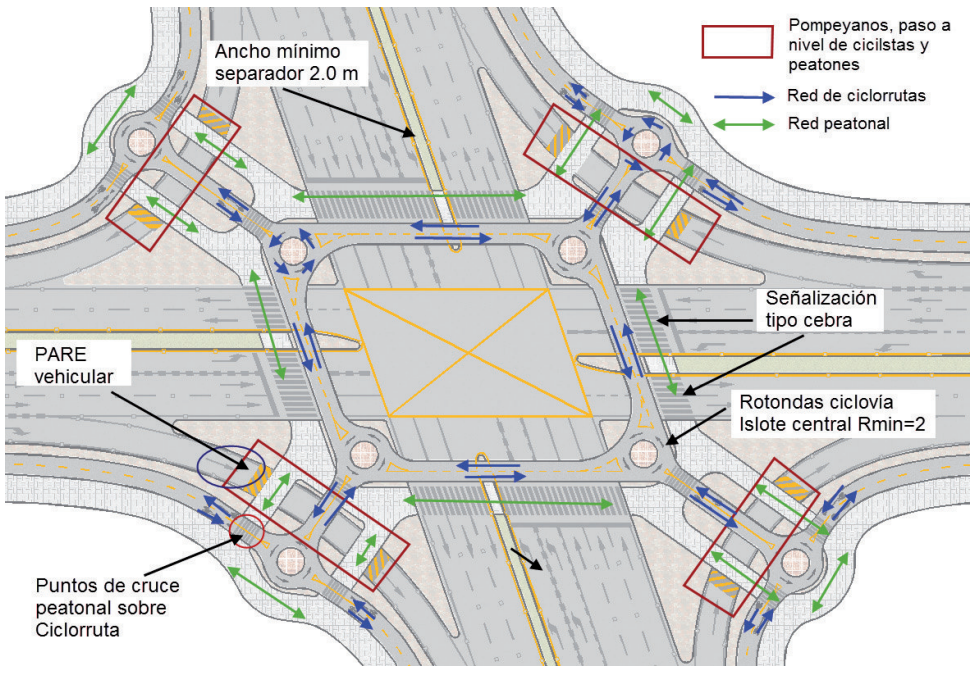
PASO PEATONAL EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA DE DOS VÍAS TIPO VAI.

- Cruces peatonales perpendiculares.
- Cruces peatonales en giros directos sobre pompeyano.
- Resolución de todos los flujos peatonales.



PASO PEATONAL Y DE CICLOUSUARIO EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA DE DOS VÍAS TIPO VAI CON UNA SOLA CICLORRUTA.

- Cruces peatonales y de ciclousuarios perpendiculares.
- Cruces peatonales y de ciclousuarios en giros directos sobre pompeyano.
- Resolución de todos los flujos peatonales y de ciclousuarios.
- Puntos de encuentro y conexión a ciclorruta.



PASO PEATONAL Y DE CICLOUSUARIOS EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA DE DOS VÍAS TIPO VAI CON RED DE CICLORRUTAS EN TODOS SU RAMALES.

- Cruces peatonales y de ciclousuarios perpendiculares.
- Cruces peatonales y de ciclousuarios en giros directos sobre pompeyano.
- Resolución de todos los flujos peatonales y de ciclousuarios.
- Puntos de encuentro y conexión a ciclorruta.

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S

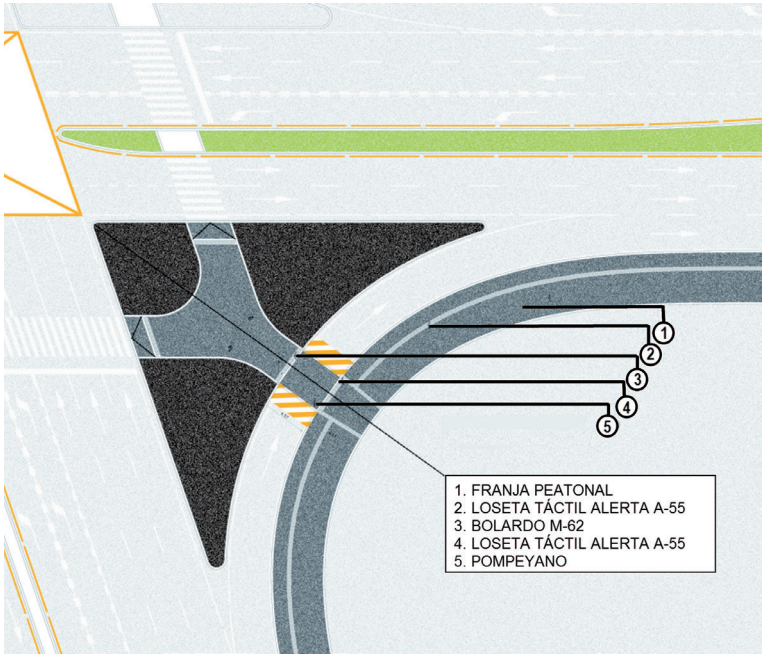
5.4.1 Cruces peatonales en esquinas de intersecciones reguladas por pare o semafóricas

Para el manejo peatonal urbano, las esquinas reciben flujos variables de peatones, ciclistas y vehículos, determinando situaciones que pueden ser resueltas mediante diferentes tipos de control o tratamientos. El tratamiento de los cruces depende de la existencia de los mismos y la geometría del sector en particular.

Si existen fases exclusivas de semáforos, se realizarán cruces en todos los sentidos permitiendo ir de un lado al otro por senderos transversales a las vías vehiculares. Tratamientos como los señalados en la Figura 69, resultan ideales cuando el tránsito peatonal es alto y los tráficos vehiculares tienen la capacidad de soportar esta parada sin contratiempos. Debe implementarse en calzadas inferiores a 18 m o de lo contrario garantizar zonas de refugio peatonal intermedias en los separadores centrales, los cuales tendrán un ancho mínimo de 2.5 m y un máximo según la demanda peatonal que se genere en un lapso de tiempo de 15 minutos.

En la Figura 70 se observa el manejo peatonal de una intersección semaforizada, en la cual no existe ciclorruta. El caso atiende al giro derecho canalizado, cuando éste se realiza sin control semafórico y por lo tanto se habilita como sendero demarcado, complementado con un semi-pompeyano para garantizar la prioridad y el el paso seguro de peatones. El ancho del sendero se establece según estudio de tránsito peatonal con un mínimo de 3.5 m.

Figura 70. Paso peatonal sobre giros derechos



Fuente: Idea Original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Cabal Arquitectos S.A.S

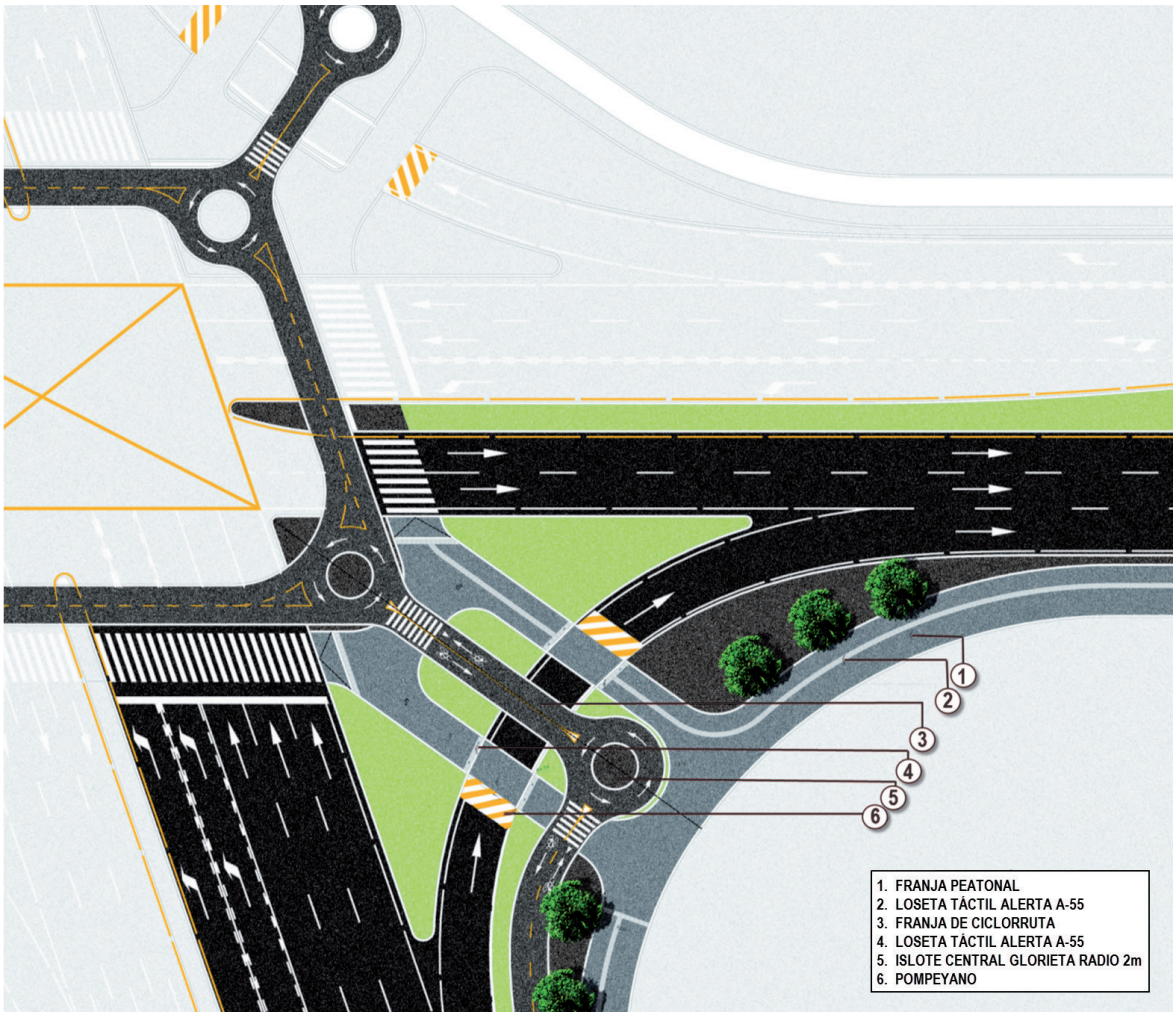
La Figura 71, que además incluye ciclistas, deja ver el tipo de demarcación peatonal para los movimientos directos, que en este caso deben ser senderos con cebra.

5.4.2 Tratamiento del tráfico de ciclistas

Antes de cruzar la vía, la franja de ciclorruta deberá ser perpendicular, a fin de que el ciclista tenga el mejor ángulo de visibilidad posible sobre la circulación de los vehículos; además, se debe tener especial cuidado con el manejo de la pendiente longitudinal de la ciclorruta, pues ésta debe ser suave de modo que el recorrido se realice de manera descansada, aspecto que a mediano plazo incentiva su uso. El manejo de pendientes transversales se debe hacer hacia las calzadas, con rasantes propias e independientes, para prevenir zonas de encharcamiento y garantizar un diseño altimétrico coherente; se sugiere que el peralte transversal mínimo sea del 2%. Véase Figura 71 y Figura 72.

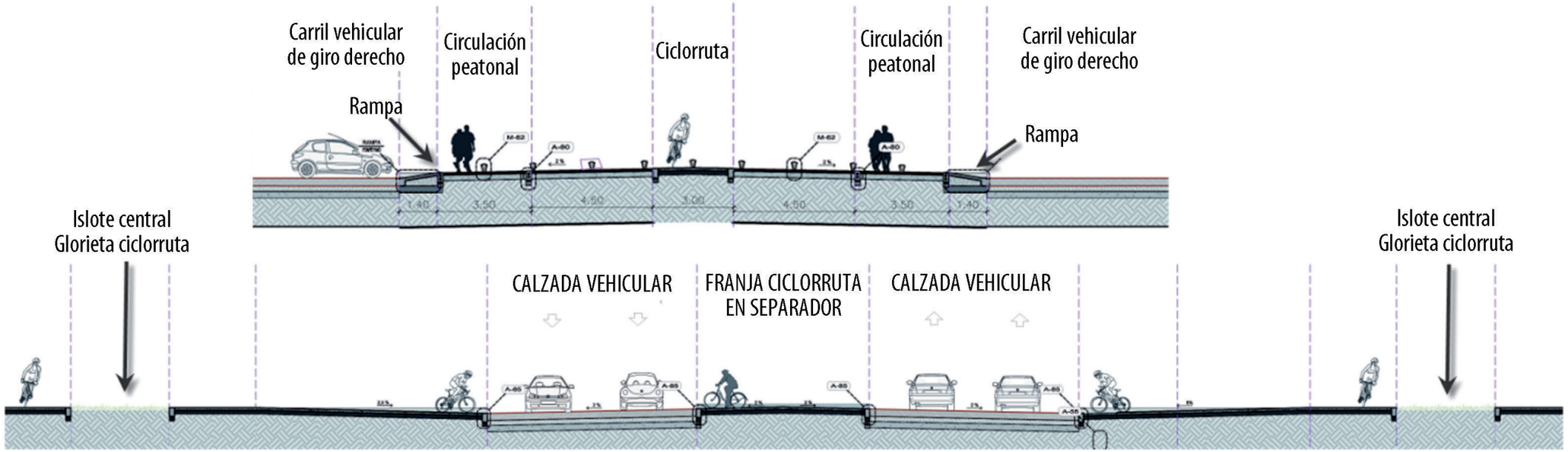
El cruce de la ciclorruta debe situarse de modo que los conductores que giran a la derecha o a la izquierda puedan observar cada maniobra que puedan realizar los ciclistas, y de esa forma permitir su paso. A la vez debe haber un segmento rectilíneo, para el ciclista antes de pasar, esto con el fin de parar y evaluar el momento de paso. Véase Figura 71.

Figura 71. Manejo de ciclorruta y franja de circulación peatonal, para intersecciones semaforizadas



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de proyecto S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos.

Figura 72. Secciones típicas para intersección semaforizadas



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de proyecto S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos.

En la Figura 72 se observa el corte de la sección transversal de la franja peatonal y de ciclousuarios a través del giro derecho presentado en la Figura 73. Es importante anotar que los anchos de la ciclorruta están determinados según el POT, siendo el ancho de la franja de ciclorruta bidireccional de mínimo 3 m libres. Además la implementación de elementos para la movilidad reducida, debe ajustarse al sitio teniendo en cuenta lo establecido por la cartilla de Espacio Público (Decreto 602 de 2007) y la cartilla de Mobiliario (Decreto 603 de 2007) publicadas por las entidades distritales IDU-SDP.

5.5 CONSIDERACIONES DE PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO

En el espacio resultante de una intersección vial, se deben manejar elementos paisajísticos que tengan en cuenta las condiciones de visibilidad de los conductores, peatones y ciclistas. Se analizarán de manera general aspectos como colores, cambios de textura, entre otros, con el objeto de generar seguridad y comodidad en carriles exclusivos, puntos de cruce, espacios de estancia y referencia urbana, etc.

El enfoque para el manejo del paisajismo y acondicionamiento consistirá en mantener la misma imagen visual de los componentes y elementos de la vía, para permitir que los usuarios identifiquen con facilidad las condiciones que ofrece este espacio y de esta manera se pueda incentivar su uso.

Figura 73. Paso en intersección a nivel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74. Paisajismo en intersección a nivel



Fuente: Elaboración propia.

5.6 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN

Las intersecciones semaforizadas y reguladas por pare deben de ir acompañadas por señalización tanto horizontal como vertical. Es indispensable que los usuarios se informen, prevengan y se regulen de manera oportuna, clara, visible y pertinente, en cada acceso de la intersección minimizando los riesgos a accidentes que pudieren llegar a originarse por maniobras confusas de los conductores.

En una intersección deben estar reglamentadas las zonas de pare o ceda el paso, las zonas de paso peatonal, las velocidades máximas permitidas, los movimientos permitidos y prohibidos, y el ascenso y descenso de pasajeros. Además se debe prevenir con antelación la presencia peatonal, la ubicación de resaltos, pompeyanos o semipompeyanos, y la reducción o aumento de carriles. Adicionalmente, la intersección debe ir acompañada con señales que informen los destinos de cada ramal con el objetivo de prevenir cambios intempestivos en la dirección de los vehículos o turbulencias. Para prevenir este tipo de maniobras en cercanías de las intersecciones el Manual de Señalización Vial del año 2004 (Corporación Fondo de Prevención Vial; Ministerio de Transporte, 2004) establece todos los criterios necesarios para la instalación de las señales informativas, preventivas y reglamentarias, así como las distancias a las cuales se deben instalar, además de los tipos de señales, tamaños, formas etc. Tales distancias deben chequearse con base en el criterio de reacción.

Es importante que la señalización vertical se disponga en elementos tales como narices, bordes de sardinel y andén, que estén en la línea de la visual del conductor, pero sin riesgo de convertirse en obstáculos laterales para ninguno de los actores viales. La franja abordadora (para ascenso y descenso de pasajeros) o de amoblamiento, localizada entre el borde de vía y el andén o la ciclorruta, según el caso, debe permitir la localización oportuna, clara, visible y pertinente de

las señales. Debe revisarse también, que la arborización no oculte las señales y que éstas no se conviertan en obstáculos para el peatón o el ciclista.

En cuanto a la demarcación se deben disponer todas las líneas de demarcación de carriles, las flechas direccionales, las líneas de pare, los triángulos de ceda el paso, los senderos y cebras, las flechas de terminación de carril y la demarcación tipo espina de pescado para convergencias y divergencias, la cual debe garantizar que independientemente del ancho, solo acceda o salga un vehículo a la vez, para evitar conflictos por el espacio en las zonas de abocinamiento.

El Manual de Señalización Vial vigente, establece las características generales que debe tener la demarcación vial en la intersección, no solamente para los vehículos sino para los peatones y ciclousuarios. Estas características incluyen: tipos de línea, anchos de línea, tipos de demarcación, características de la pintura a usar y formas, entre otras.

Por último, cabe resaltar que aunque la finalidad de esta Guía no recae directamente sobre el tema de señalización, pues existe otro documento que la regula, si es un tema de vital importancia dentro del diseño vial directamente relacionado con la geometría en planta y la altimetría, y por consiguiente con la seguridad vial. Es función del diseñador geométrico definir las prioridades de circulación bajo las cuales concibe su diseño, pues éstas condicionan temas como la definición de ejes de diseño, la geometría de las canalizaciones, las líneas de contacto para el tratamiento de peraltes, el diseño altimétrico de las bifurcaciones, entre otros aspectos. Por lo tanto, se recomienda que sea el diseñador geométrico quien realice el diseño de señalización, y que además sea incluido desde el planteamiento conceptual en la fase de prefactibilidad, para una mejor comprensión del proyecto.

6. INTERSECCIONES ANULARES

Este grupo de intersecciones corresponde a todas aquellas que involucran la circulación vehicular a través de un anillo que podría ser circular, elipsoidal u ovoidal, que discurre alrededor de una isleta central, a la que acceden diferentes vías (basado en Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994).

Las recomendaciones que se hacen en esta guía, aluden exclusivamente al tipo de glorieta, en la cual la prioridad de circulación la tiene la calzada anular. Se resaltan las siguientes:

- **Miniglorietas:** son aquellas con diámetros menores a 4 m, anchos de calzada de hasta 12 m y con islotes centrales pisables, demarcados con pintura. Este tipo de intersección es aplicable solo en cruces de vías locales o donde se requiera la disminución de velocidades a menos de 10 km/h. Para su implementación no debe existir tráfico de carga ni transporte público.
- **Grandes Glorietas:** son aquellas con diámetros mayores a 100 m. Este tipo de intersección, no es recomendable en ámbito urbano, pues presentan el problema de inducir altas veloci-

dades de circulación, sin aumentar sustancialmente la capacidad además del requerimiento de grandes áreas para su desarrollo.

- **Glorietas Normales:** son aquellas con diámetros entre 4 y 60 m, con velocidades específicas de circulación, de hasta 30 km/h. Generalmente su implementación se asocia a vías arteriales complementarias, arteriales intermedias y locales, permitiendo conectar vías desde perfiles V 3 a V 8.

- **Glorietas a Desnivel:** son aquellas en las cuales, alguno o todos los flujos directos son canalizados a través de un puente o un paso deprimido, restando así volumen a la calzada anular. El diámetro, dependerá del ancho de sección de las calzadas a empalmar (por lo general oscila entre 60 y 120 m), de forma tal que en ningún caso se configuren accesos tangenciales a la calzada anular, que no favorezcan un ceda el paso efectivo; así, la velocidad estará regulada por la velocidad específica en los accesos a la intersección. Este tipo de intersección anular, es aplicable en Arteriales Complementarias y Arteriales Principales, desde el perfil V 0 hasta el V 2, incorporando las especificaciones de tránsito, urbanismo y las demás áreas involucradas.

De manera general, aunque no hacen parte de las recomendaciones propias de esta guía, existen tipos en los cuales la prioridad de circulación no la tiene la calzada anular; es decir, que no se obliga a ceder el paso en el acceso. Esta situación suele presentarse cuando la proyección geométrica no satisface ciertos criterios y recomendaciones que se mencionarán en esta guía, o en tipos como los que se describen a continuación (basado en Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994):

- **Glorietas Partidas:** no son propiamente intersecciones anulares pues la mayoría del tráfico no circula por el añillo o calzada anular, sino que la atraviesa, y los vehículos que sí circulan por ella deben ceder el paso a la corriente principal. Por seguridad vial, tránsito y manejo peatonal, se recomienda que estén semaforizadas.

- **Glorietas Semaforizadas:** no funcionan propiamente como glorietas, pues el sistema de prioridad dota de un funcionamiento que discrepa del concepto original. Por tanto debe destacarse que las intersecciones anulares semaforizadas, se rigen por criterios muy diferentes a los utilizados en glorietas normales, de manera que pueden considerarse como otra tipología de intersección.

6.1 UTILIDAD Y RIESGOS EN SU SOBREUTILIZACIÓN

Las glorietas generan un impacto directo en la velocidad y recorrido de las corrientes que se intersectan, generando un patrón que obliga a todas las corrientes a ingresar a una calzada anular en la que las velocidades se reducen y la jerarquía funcional se hace igual para todas las corrientes (exceptuando las glorietas a desnivel). Es por esta razón que son fundamentalmente un tipo de intersección que favorece la conectividad y permeabilidad en la red vial, facilitando una mayor relación de las vías con su entorno, sin sacrificar la capacidad vehicular.

Ventajas de las glorietas:

- **Tratamiento del Tráfico:** resuelve automáticamente todos los movimientos posibles en la intersección, incluidos los retornos; referencias bibliográficas, principalmente europeas establecen que una glorieta normal de máximo tres carriles en el anillo puede soportar más de 6000 vehículos en la hora de máxima demanda, en este sentido, está comprobado que este tipo de intersecciones tiene mejor capacidad que cualquier otra solución a nivel (Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994). Adicionalmente, permiten un ordenamiento de los flujos y en horas valle reducen los tiempos de demora en la intersección.

- **Flexibilidad y ductilidad:** es una solución fácilmente modificable. Admiten la incorporación de nuevos ramales o carriles adicionales mediante leves modificaciones geométricas; además, dada la reserva del suelo que se garantiza con su construcción, pueden favorecer la implementación de enlaces posteriores a desnivel.

- **Seguridad:** la construcción de una glorieta supone la reducción del número y la gravedad de los accidentes de tránsito, debido a la reducción de velocidades que incita y a la desaparición de ángulos próximos a los 90° en el cruce entre corrientes de tráfico (siempre y cuando las entradas tengan la geometría recomendada). En cuanto a accidentes que involucren peatones, es claro que las glorietas aumentan la vulnerabilidad de este actor, por lo tanto la canalización segura de peatones y ciclistas siguiendo las recomendaciones que se enunciarán más adelante, es fundamental.

- **Paisajismo:** permiten un tratamiento paisajístico mediante la utilización de la isleta central, con los condicionantes derivados del control de la visibilidad.

No obstante, existe un riesgo al uso y el abuso de las mismas, como solución única o universal. La sobreutilización de las glorietas, como lo menciona el Libro de Recomendaciones para el Diseño de Glorietas (Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994) no es conveniente, ni desde la perspectiva de la fluidez de la circulación, ni desde la eficacia de la red vial. Es claro que este tipo de intersecciones se asocia con la moderación de las velocidades y la integración de diferentes jerarquías viales, por tanto deben seleccionarse con criterio; su ubicación y espaciamiento en función de las características de la red circundante, las condiciones del entorno, el tipo de topografía, entre otros aspectos. Así pues, no debe considerarse como solución única, y su elección dependerá de un análisis multicriterio de alternativas. Sus principales limitaciones son:

- **Pérdida de Prioridad:** las glorietas suponen la pérdida de prioridad de todas las vías que en ella confluyen (excepto si se manejan flujos a desnivel), lo que impide el establecimiento de prioridades viales.

- **Dificultades para el transporte público:** las paradas de transporte público colectivo resultan inconvenientes tanto inmediatamente antes de una entrada al anillo, como inmediatamente después.

- **Manejo Peatonal:** su principal inconveniente recae sobre el alargamiento de los recorridos a pie. Previamente al diseño de una intersección tipo glorieta es preciso conocer o estimar el tráfico peatonal a que estará sometida y decidir si el volumen previsto es compatible con un funcionamiento fluido de la misma y manejable de forma segura para todos los actores viales, o si por el contrario se requieren canalizaciones peatonales a desnivel u otro tipo de solución que resulte más conveniente.

6.2 CONDICIONES PARA SU IMPLANTACIÓN

A continuación se enumeran algunas recomendaciones básicas asociadas con la implementación de glorietas, en función del entorno en el que se emplazan:

- A nivel urbano las glorietas se justifican en medio de una transición entre arterial y colectora o colectora y local, entre la circulación continua y la discontinua, entre las altas velocidades y las bajas velocidades, entre secciones transversales diferentes que deben ser transicionadas.

- Como elemento distribuidor a la entrada de complejos residenciales o planes parciales, en función de los análisis de tránsito vehicular y peatonal, así como del estudio urbanístico.

- En vías arteriales principales y complementarias, las glorietas normales deben utilizarse con precaución ya que suponen una interrupción brusca del régimen de flujo e impiden la prioridad de una vía sobre otra. En este caso se recomiendan glorietas a desnivel, en donde la calzada anular sirva exclusivamente para el manejo de giros izquierdos.

- Las glorietas normales se adaptan bien a la resolución de intersecciones de 3, 4, 5 y más ramales, siempre y cuando se garantice la distancia mínima entre ramales de entrada y salida especificada más adelante. Pueden emplearse en vías bidireccionales o unidireccionales.

- Resultan especialmente aptas para aquellas intersecciones donde los giros, especialmente a la izquierda, suponen un porcentaje importante de todos los movimientos.

- Se las recomienda en intersecciones donde exista equilibrio parcial o total entre los tráficos precedentes de las vías confluyentes. Es recomendable no superar una relación de 1 a 10 en términos de volúmenes entre ramales (Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994).

- Los lugares más convenientes para la localización de glorietas, son aquellos que resultan plenamente visibles horizontal y verticalmente desde los ejes de los ramales que se aproximan a estas. En consecuencia, no se aconseja su implementación en curvas verticales convexas con pendientes mayores al 3%.

6.3 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS

En este numeral se tratará lo relacionado con glorietas normales, las cuales basan su funcionamiento en que la prioridad de la circulación vehicular la tiene la calzada anular en la cual convergen diferentes vías, que circulan en torno a un islote central de diámetro mayor a 4 m.

Así mismo, se tratará el tema de glorietas a desnivel, para de esta forma cubrir los tipos de implementaciones de intersecciones anulares recomendadas para Bogotá D.C.

A continuación se desglosa el proceso planimétrico:

6.3.1 El islote central

Para el caso de glorietas normales se recomienda que el diámetro del islote central se encuentre en un rango de 4 a 60 metros, dependiendo de la vías a empalmar y la velocidad específica que se requiera garantizar. Para el caso de glorietas a desnivel, el diámetro máximo del islote dependerá del ancho máximo de la sección transversal de las vías a empalmar, de forma tal que se garantice que ningún ramal, quede configurado en forma de recta tangente al anillo, con la entrada y la salida alineadas, sino que la geometría y el radio de entrada, garantice un verdadero ceda el paso. Para un perfil V1, el diámetro del islote de la glorieta debería tener un diámetro de alrededor de 80 a 100 m, dependiendo de las condiciones propias de la intersección. Diámetros superiores a 120 m no son recomendables y por tanto su aplicación en vías V0, no es aconsejable.

Excepcionalmente se admiten islotes elipsoides, siempre con una excentricidad que se encuentre entre 0.75 y 1.

Tabla 12. Características del islote central según tipo de glorieta

TIPO DE GLORIETA	ISLOTE CENTRAL
Normal Circular	4 m < Diámetro < 60 m
A Desnivel	Diámetro Máximo 120 m
Normal Elíptica	e = Diámetro Menor/ Diámetro Mayor 0.75<e<1

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 La calzada anular

Para determinar el ancho de la calzada y la cantidad de carriles se deben analizar los siguientes dos condicionantes: el primero se refiere a la necesidad de garantizar el sobreancho en los carriles, requerido por la trayectoria vehicular sobre la calzada anular. El segundo, asociado con la cantidad de carriles, se refiere a la capacidad que debe tener esta calzada para soportar el tráfico proveniente de los ramales.

El ancho de los carriles está condicionado por la necesidad de garantizar el sobreancho de la huella de la trayectoria del vehículo de diseño. El ancho de la calzada depende del radio de giro

en el islote central y de la velocidad específica, el cual usualmente es de mínimo 4.0 m (para calzadas de dos carriles), incrementado hasta 5 m en glorietas que tienen a más de un 10% de tráfico de vehículos pesados (con base en Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras, 1994). En todo caso, el ancho seleccionado debe estar sustentado en la ocupación del vehículo de diseño (trayectorias vehiculares).

En cuanto a la capacidad, se recomienda que el número de carriles en el anillo sea igual al número de carriles del ramal más ancho; Así, en caso de que todos los ramales posean un solo carril, la glorieta debe estar igualmente señalizada para un solo carril (en función del radio el ancho de este carril estará entre 5 y 6 m); en cambio si alguno o todos los ramales tienen dos carriles, entonces la calzada anular debe tener los mismos dos carriles y anchos por carril entre 4.0 m y 5 m. La glorieta resulta funcional hasta con tres carriles en el anillo, si como ya se mencionó, alguno de los accesos también posee tres carriles; no obstante, para más de tres carriles no es aconsejable su implementación por los conflictos que se presentan cuando el vehículo que viaja por el carril interno de la vía quiere salir de la glorieta.

Debe tenerse en cuenta que si en todos los accesos poseen una cantidad X de carriles, la ganancia en capacidad añadiendo un carril sería nula, pues si las trayectorias están bien definidas uno de los carriles del anillo no debería ser usado nunca. O si en efecto, durante el recorrido el carril se utiliza, el problema se traslada a la salida de la glorieta ya que la probabilidad de que los vehículos salgan al tiempo de los X + 1 carriles a incorporarse a un ramal de X carriles sin prioridades definidas, es alta, generando problemas de abocinamiento, embotellamientos y choques simples.

6.3.3 Ramales de entrada y salida a la glorieta

En cuanto a los ramales de la glorieta se recomienda que su ubicación en la glorieta sea semejante uno del otro para que el comportamiento de los conductores sea un ciclo iterativo y con un ritmo continúo según en volumen vehicular, que favorezca la comprensión de la glorieta y facilite la conducción al transitarla.

- **Dirección del eje de los ramales**
  La alineación de cada uno de los ramales debe ser tal que estos confluyan al centro de la intersección (islote central) para que la intersección sea comprendida por los conductores como un obstáculo y en ningún momento los ramales se encuentren enfrentados ya que esta situación puede causar que los conductores no perciban el tipo de intersección al que se enfrentan.

- **Geometría de las entradas**
  Una condición importante en el funcionamiento de la glorietas es la geometría que poseen los ramales de ingreso a la glorieta ya que de ésta depende que los conductores ingresen a la intersección con un verdadero ceda el paso y a una velocidad apropiada.

Con el objeto de asegurar una reducción significativa de la velocidad en la entrada, los radios de curvatura del ramal de incorporación a la glorieta deben tener velocidades específicas acordes a la velocidad del anillo, y que en ningún caso, exista un delta mayor a 20 km/h.

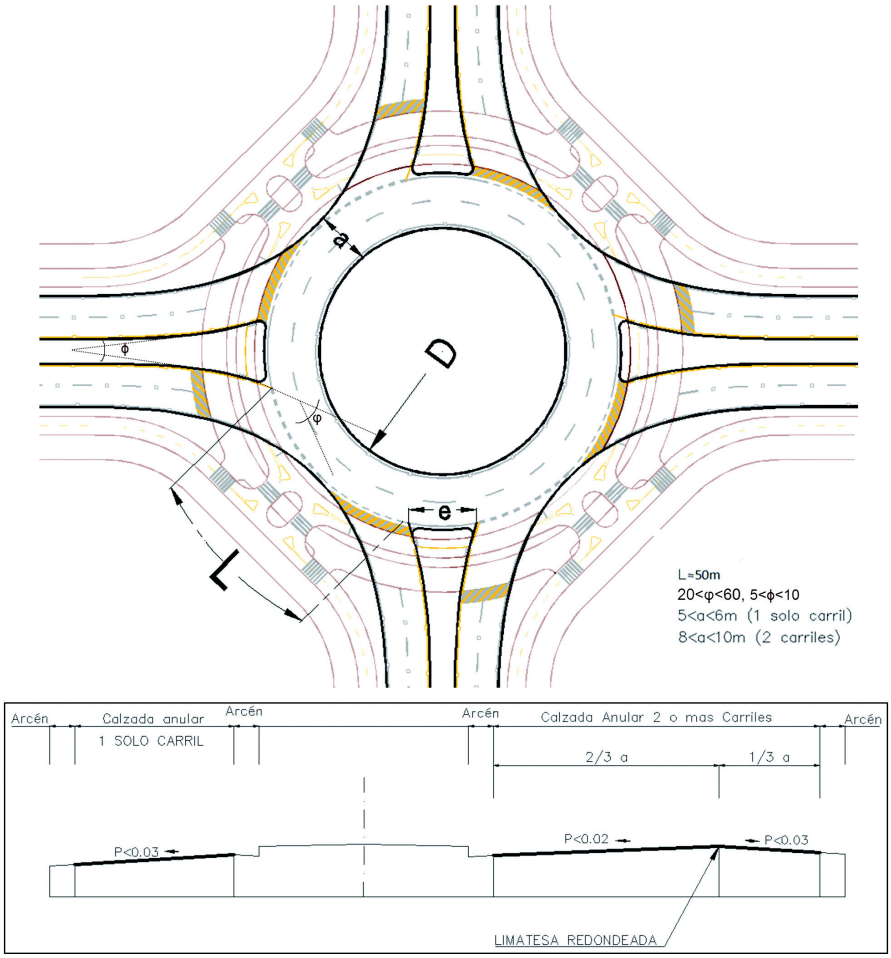
En cuanto al ancho del carril en la entrada se recomienda un mínimo de 4.5 m y un máximo según la ocupación del vehículo de diseño. Sin embargo, esto debe sopesarse con la situación no recomendable en la que puedan acumularse en la entrada una cantidad de vehículos en paralelo mayor a la capacidad del anillo, lo que generaría una competencia por el espacio desfavorable para la operación.

➦ Isletas canalizadoras

Por otra parte, se recomienda la construcción de isletas que canalicen el tránsito vehicular de entrada a la glorieta. Las dimensiones mínimas o recomendables para el diseño de isletas canalizadoras en glorietas normales son:

- Ancho mínimo medido sobre la línea externa de la calzada anular entre 10 y 20 m, para que queden efectivamente canalizadas y diferenciadas, la entrada de la salida.
- Ancho mínimo en zona con paso de peatones, 2.5 metros.
- Ángulo de la isleta en el arranque con el eje de la vía, entre 5° y 10° con el fin de iniciar una deflexión suave.
- El ángulo de entrada a la calzada circular debería estar comprendido entre los 20° y los 60°, esto, para advertir al conductor la presencia de la intersección con cierta anticipación, para los casos de vías bidireccionales sin separador central..
- Longitud mínima de la isleta 15 metros, recomendable 30 metros. Esto, para advertir al conductor la presencia de la intersección con cierta anticipación, para los casos de vías bidireccionales sin separador central.
- El radio de giro de la deflexión de entrada dependerá del manejo de velocidades específicas.
- El ancho de los carriles de entrada debe estar soportado por la ocupación del vehículo de diseño y debería ser de 4.5 m como mínimo, por carril.
- Se recomienda que en las entradas justo en la línea de ceda el paso, se impida físicamente la formación de más filas de espera que los números de carriles previstos.

Figura 75. Dimensiones recomendadas para una glorieta normal



Fuente: Elaboración propia con base en (Comunidad de Madrid, 1994).

➦ **Distancia entre ramales**

Se recomienda una disposición equidistante de los brazos de las glorietas y una separación entre una entrada y la salida más próxima que no sea inferior a 20 m, medidos sobre el borde exterior de la calzada anular, entre puntas de isletas (L en Figura 75).

Cuando la distancia entre el ramal de entrada y la siguiente salida es cercana a la mínima, se recomienda generar una sola concatenación E-C-E tangente al eje de la calzada anular (Véase Figura 76). Cuando la distancia es mayor, pueden independizarse, generando una concatenación E-C-T a la entrada y T-C-E a la salida.

Deben evitarse los accesos parásitos al anillo (estaciones de servicio, estacionamientos, locales) o en todo caso, ser tratados como entradas, con todos los requerimientos que ello implica.

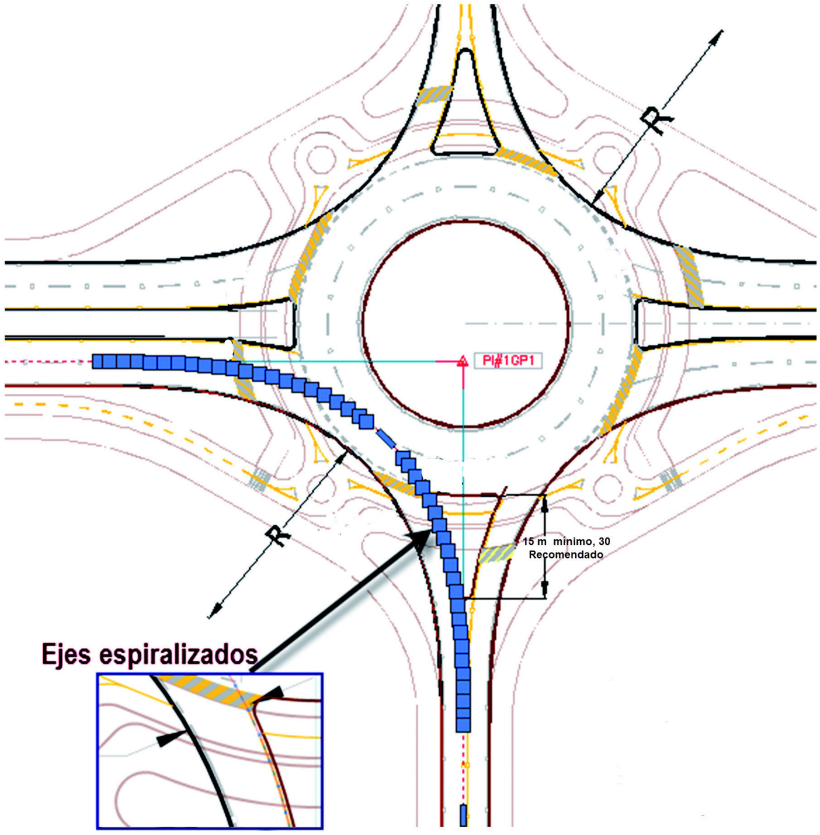
Geometría de las salidas

La geometría de los ramales de salida de la glorieta debe facilitar a los conductores una salida fácil, rápida y cómoda, garantizando trayectorias seguras sin formación de zonas de abocinamiento, situación que interfiere con el buen funcionamiento de la glorieta.

También se recomienda la construcción de isletas canalizadoras del tráfico vehicular. Para su diseño se debe tener en cuenta la geometría de los ingresos, de manera que se diseñe una sola isleta que garantice una geometría idónea tanto para el ramal de salida como para el de entrada. A continuación se exponen una serie de recomendaciones para los ramales de salida de las glorietas.

Los radios, anchos y manejo de deflexiones pueden regirse por la condición más crítica que es la de entrada. Por lo tanto los radios de salida dependerán del manejo de velocidades específicas y los anchos de carril de la ocupación del vehículo de diseño, siendo 4.5 el ancho mínimo.

Figura 76. Geometría de entradas y salidas dimensiones recomendadas



Fuente: Elaboración propia con base (Comunidad de Madrid, 1994).

6.3.4 Giros derechos canalizados

Se recomienda disponer de ramales directos de giro a la derecha cuando el tráfico previsto en ellos sea al menos de 300 veh/hr en la hora de máxima demanda, o suponga más del 50% del total entrante por la vía considerada.

Es importante anotar que en el diseño de los giros derechos canalizados se deben analizar las zonas de pasos peatonales, pues como se ha mencionado a lo largo de la guía, si se presentan estos pasos peatonales se les debe dotar de la infraestructura necesaria para generar el paso seguro y cómodo de los peatones, así como la reducción total de la velocidad del vehículo.

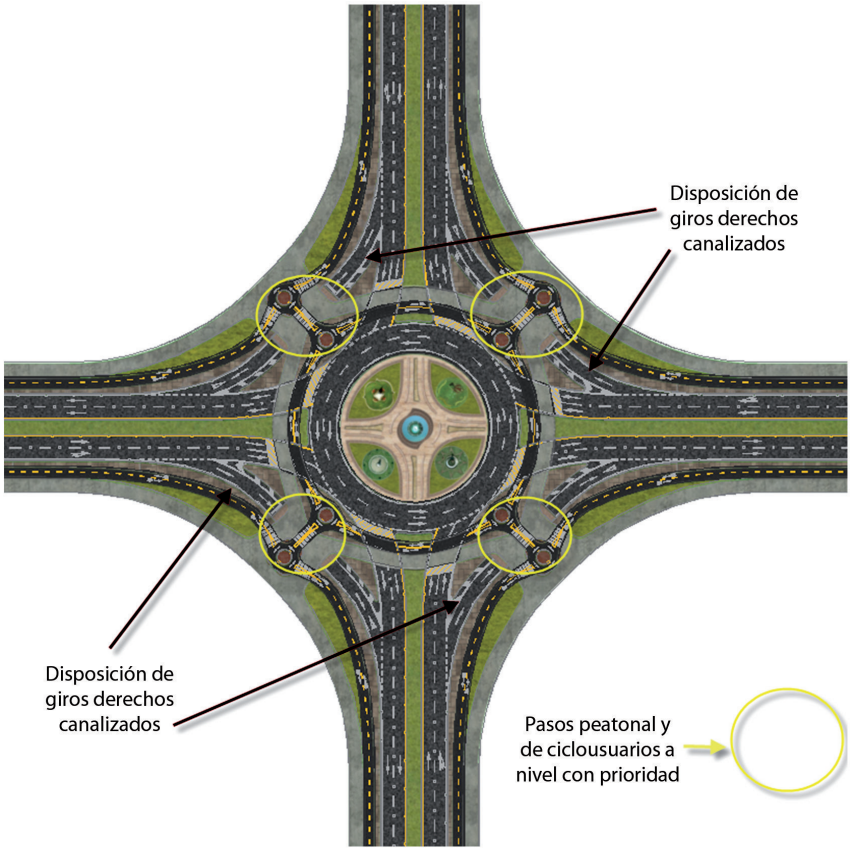
Se recomienda separar físicamente los ramales de giro directo a la derecha de la calzada anular en todo su desarrollo, mediante isletas de entre 2 a 5 metros de anchura de modo que éstas se conviertan en un resguardo peatonal seguro y cómodo para peatones y ciclistas

En el caso de que alguno o todos los ramales de la intersección dispongan de ciclorruta, estas isletas deben contar con la infraestructura necesaria para permitir el manejo peatonal y de ciclousuarios. Cabe recordar que estas infraestructuras deben resolver todos los movimientos permitidos como si se tratase de intersecciones vehiculares.

Los bordes de vía de los giros deben permitir una ocupación segura del vehículo de diseño, que siga las recomendaciones dadas en el numeral 5.1.2 para los carriles de giro canalizado a la derecha.

En la Figura 77 se presenta el diseño de una intersección tipo glorieta que cuenta con giros derechos canalizados en cada uno de sus ramales; se observa cómo en cada giro derecho existe un manejo peatonal y de ciclousuarios a nivel, por medio de pompeyanos de modo que aseguran la conexión peatonal y de ciclousuarios en todos los ramales. Sumado a esto, el manejo de la ciclorruta en los puntos donde se interceptan varios tramos, se realizó por medio de glorietas que funcionan como distribuidores de flujo que permiten la conectividad desde cualquier origen hacia cualquier destino, sin generar conflictos con los flujos peatonales ni vehiculares. Esta idea además permite la consolidación de una verdadera red de ciclorrutas extrapolable a cualquier punto de la ciudad que lo requiera.

Figura 77. Giros derechos canalizados en una glorieta



Fuente: Elaboración propia.

6.4 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD

El manejo altimétrico en la glorieta permite evitar fenómenos como limatezas en borde, encharcamientos y condiciones inseguras de estabilidad al ingreso a la glorieta que se originarían si no se le da un tratamiento adecuado a los peraltes y al perfil longitudinal dentro de la glorieta.

6.4.1 Peraltes

En una glorieta normal o a desnivel, donde la prioridad de circulación la tenga el anillo, los peraltes del mismo, no están gobernados por la necesidad de mantener estable la marcha del vehículo en la curva, dado que las velocidades en que se opera son bajas (30 Km/h o menos). Por el contrario, la construcción del peralte tiene por objeto mejorar el drenaje y permitir un mejor empalme entre la calzada anular y los ramales de entrada o salida.

Para glorietas de dos o más carriles se recomienda disponer un peralte hacia el interior, con un máximo de 2%, en los 2/3 interiores de la calzada anular, y en el tercio restante uno cercano al 3%, sin excederlo (Comunidad de Madrid, 1995). Esto, con el fin de evitar la formación de limatezas que aumentan la incomodidad, la inseguridad y el riesgo de accidentes.

6.4.2 Perfil longitudinal

En cuanto a las glorietas, la situación ideal es que se encuentren sobre un espacio plano; en cuanto al perfil longitudinal se recomienda que la pendiente no exceda en ascenso el 3% y en descenso el -6%.

6.4.3 Triángulos de visibilidad

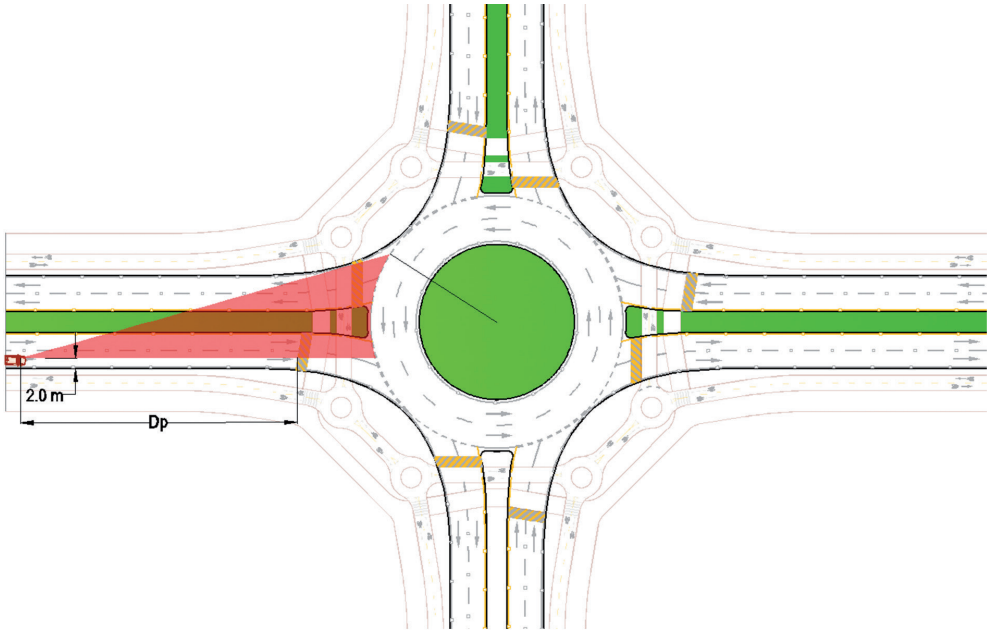
Para el análisis de la visibilidad en glorietas se tomó el CASO 3 B: intersecciones tipo glorieta normal (con control de ceda el paso AASHTO, American Association of State and Transportation Officials, 2011), complementando las recomendaciones según lo establecido en el libro de Recomendaciones para Glorietas de la Comunidad de Madrid (Comunidad de Madrid, 1994).

Cuando un conductor se aproxima a una intersección tipo glorieta se debe garantizar una zona despejada de obstáculos que garantice a los conductores situados a una distancia de parada (Dp) a partir de la línea de ceda el paso y dos metros al borde derecho de la calzada la visión del área definida por su trayectoria y una línea a su izquierda que, saliendo de este punto garantice la visibilidad total del cruce peatonal y de ciclousuarios, permitiendo además observar la calzada anular. Véase Figura 78.

También se requiere que en todos los ingresos a una glorieta se garantice la visibilidad de los conductores hasta la entrada anterior, o una distancia mínima de 50 metros hacia la izquierda, medida sobre el eje de la calzada anular. Igual visibilidad se debe garantizar en el sentido de circulación de la calzada anular, situación que se observa en la Figura 79.

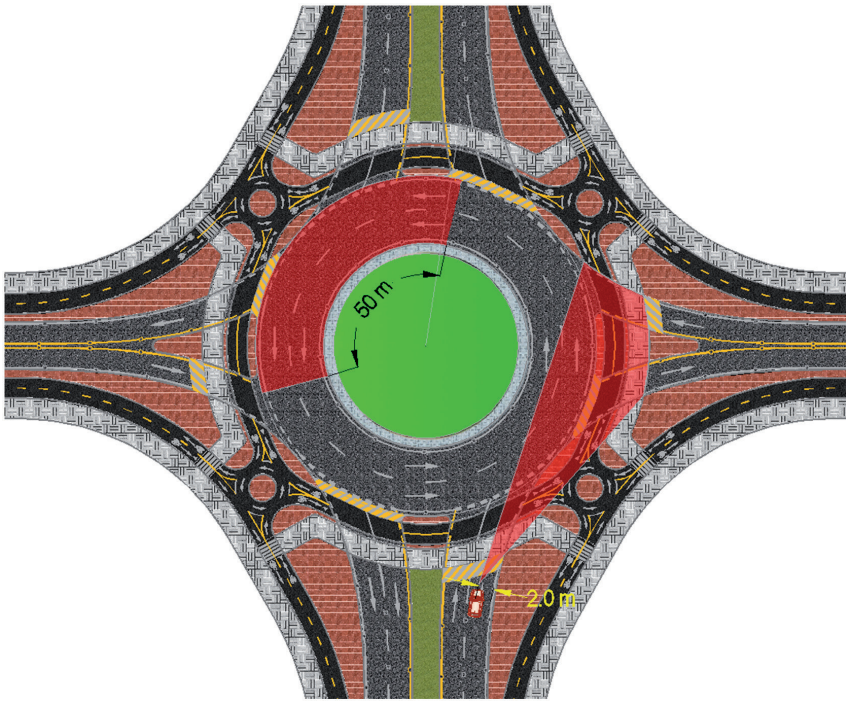
Finalmente, el conductor ubicado en cualquiera de las entradas a la glorieta antes de la línea de ceda el paso, debe tener una visibilidad completa de toda la anchura de los pasos peatonales ubicados a una distancia menor de 50 metros o hasta la próxima salida.

Figura 78. Triangulo de visibilidad en glorietas Caso 3B



Fuente: Elaboración propia basado en (Comunidad de Madrid, 1994).

Figura 79. Visibilidad en la entrada a la glorieta Caso 3B



Fuente: Elaboración propia.

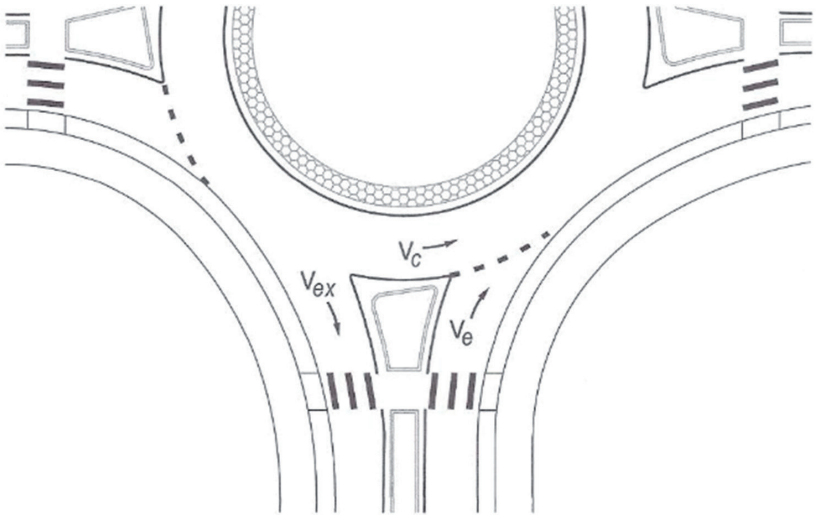
6.5 CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO

Las glorietas son un tipo de intersecciones que, bajo un correcto diseño geométrico, ofrecen las condiciones para albergar volúmenes de tránsito de altas magnitudes, permitiendo que se realice todo movimiento posible en la intersección en términos de seguridad. De este modo, se puede decir que una rotonda se adapta en los casos donde los ramales presentan un volumen vehicular similar entre sí, con alta participación de giros izquierdos y un leve tránsito peatonal (Comunidad de Madrid, 1993).

Por tanto, es ideal que las vías que se crucen mediante una rotonda sean de una jerarquía vial similar, tal que pueda existir la brecha suficiente para dar permiso de paso a las corrientes vehiculares de cada vía. De igual forma, en presencia de alto volumen de tráfico no motorizado, es ideal separar estos flujos del tránsito vehicular.

Para el análisis de tránsito de estas intersecciones, es importante considerar que la capacidad de la rotonda está relacionada con el comportamiento del tránsito, tal como se expone en el HCM 2010 los flujos en interés son el flujo de entrada (Ve), el flujo de salida (Vex) y el flujo en circulación (Vc), estos se ilustran en la Figura 80.

Figura 80. Flujos de interés en análisis de rotondas



Fuente: Highway Capacity Manual 2010.

Existen varias metodologías para el análisis de tránsito en rotondas, el más reconocido es el Modelo del TRL.

La Federal Highway Administration en la versión 2010 del Manual de Capacidad presenta un nuevo enfoque para el análisis operacional de rotondas, el cual incluye la aplicación de modelos de regresión y modelos analíticos. Dentro de la información que requiere dicho análisis se encuentra:

- Número y configuración de los carriles en cada acceso.
- Demanda vehicular en cada acceso y cruce peatonal para el cuarto de hora pico; o la demanda vehicular en la hora máxima para lo cual se requiere el factor de hora pico. El conflicto vehículo-peatón genera reducción de la capacidad, más aún si para los flujos no motorizados se dispone de infraestructuras especializadas como pompeyanos.
- Porcentaje de vehículos pesados.
- Distribución de volúmenes a través de los carriles.
- Periodo de análisis, por lo general de 15 minutos.

De acuerdo con el análisis del HCM 2010, el nivel de servicio F se alcanza cuando el volumen excede la capacidad, es decir para todos los casos en que la relación V/c es mayor a la unidad. En caso contrario, el nivel de servicio está relacionado con las demoras por vehículo, teniendo los mismos límites que se usan para intersecciones de "Pare" o "Ceda el paso".

6.6 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS

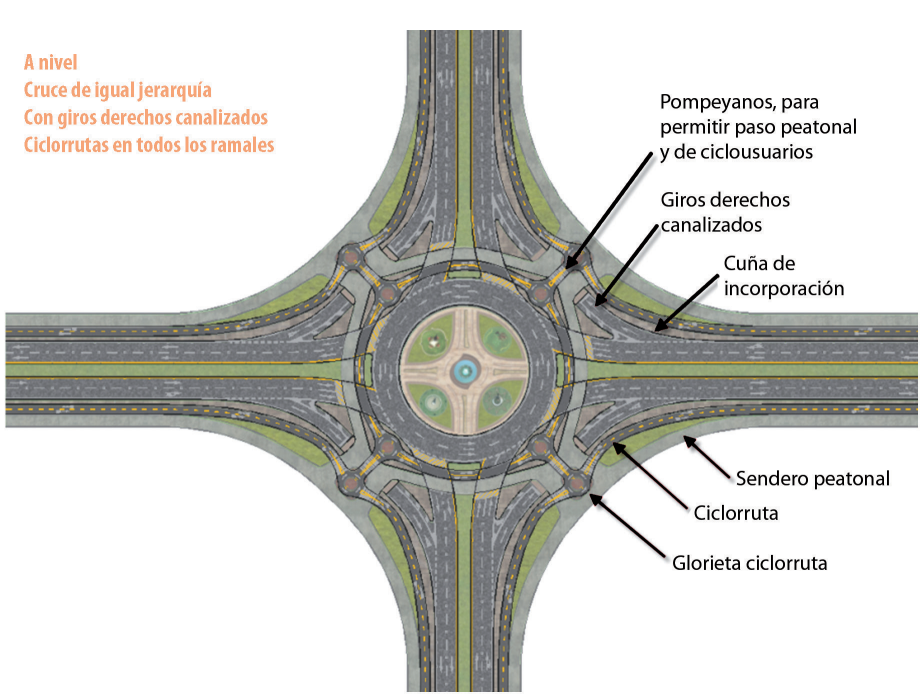
Las glorietas resultan incomodas en general para los peatones más que en otro tipo de intersección debido a que los obliga a realizar un rodeo, alargando sensiblemente la longitud de los recorridos, al estar prohibido el cruce sobre la calzada anular.

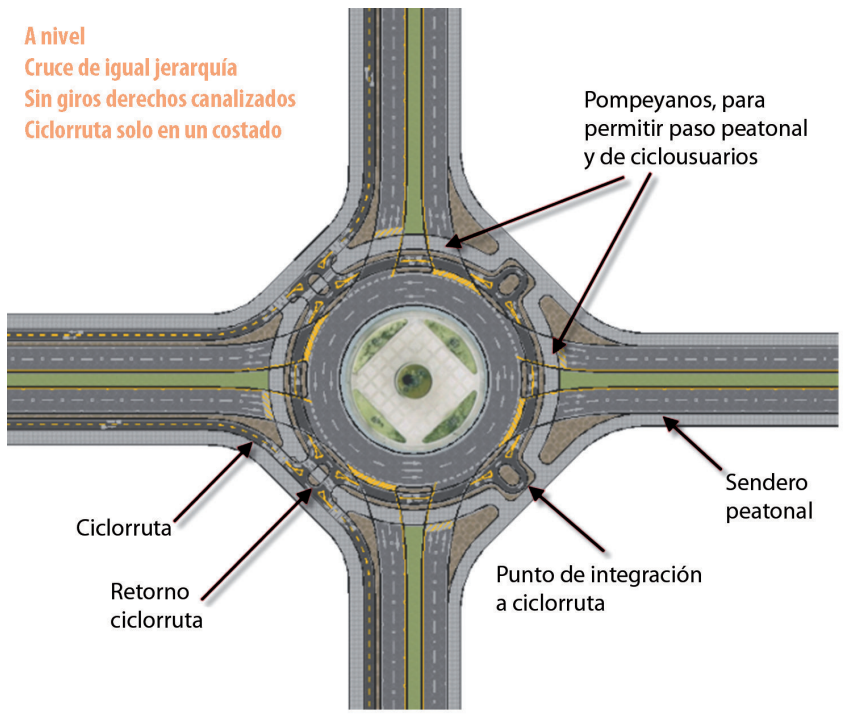
Es por esto que el tratamiento peatonal que complementa las intersecciones anulares, debe responder a las funciones urbanas básicas. El espacio público que se propone configura una red pública continua, sin interrupciones, articulada por cruces con prioridad al peatón y a todos los medios no motorizados en general. No son recomendables los cruces peatonales a nivel en una intersección tipo glorieta que funcionan solo con la regulación de ceda el paso en las entradas y que cuenta con un elevado número de vehículos; esto se debe a que el funcionamiento de la glorieta depende en gran medida de la habilidad de los conductores para ingresar o salir de la circulación en la calzada anular y si los conductores también tienen que atender a un intenso flujo peatonal que cruza los ramales de la glorieta, el funcionamiento se ve fuertemente afectado.

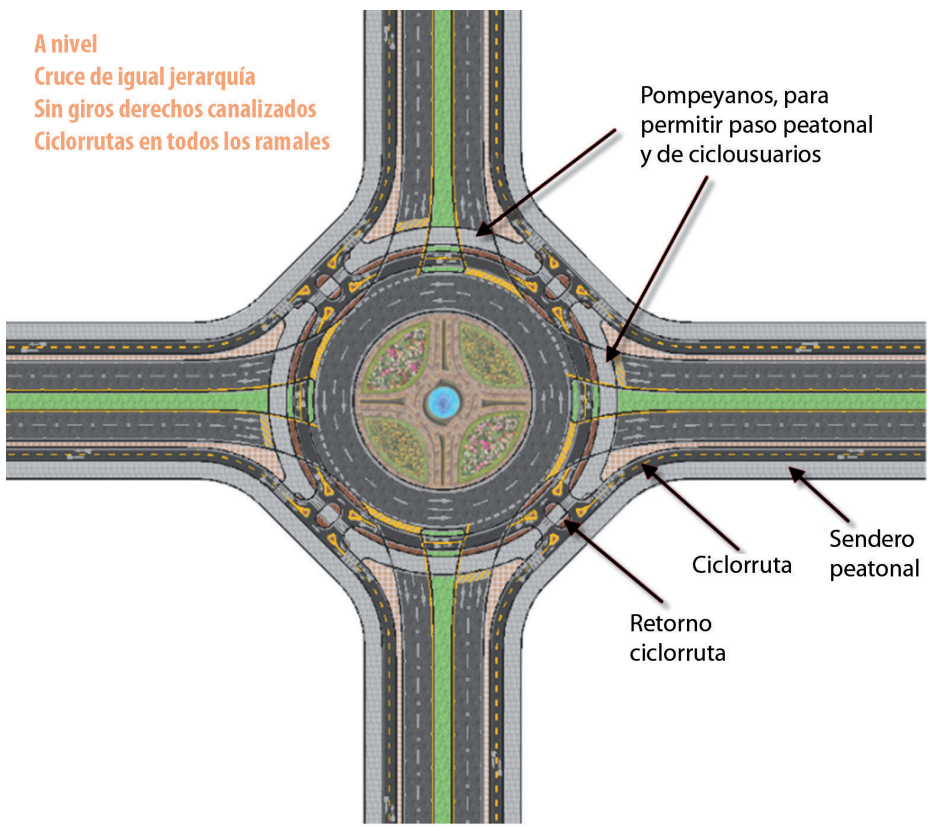
Por lo anterior previamente al diseño de la glorieta es preciso conocer o estimar el tráfico peatonal a que estará sometida y decidir si el volumen previsto es compatible con un funcionamiento fluido de la misma.

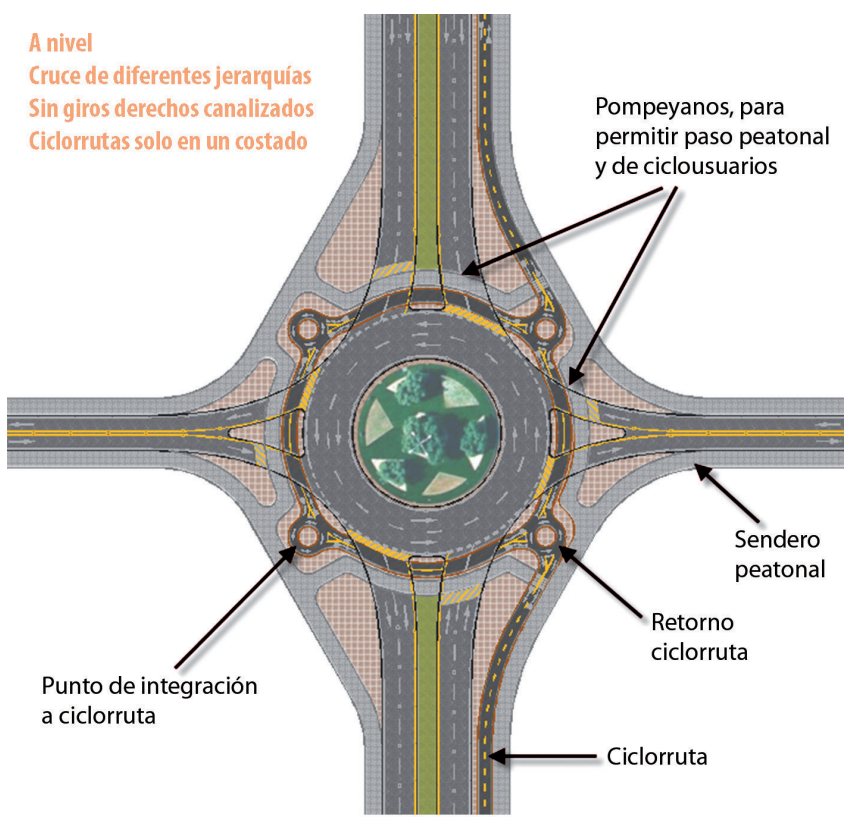
Una vez decidida la construcción de la glorieta se deben establecer un tratamiento del tráfico peatonal que garantice la seguridad de todos los actores viales. A continuación se mencionan algunas recomendaciones para el tratamiento del flujo peatonal en este tipo de intersecciones.

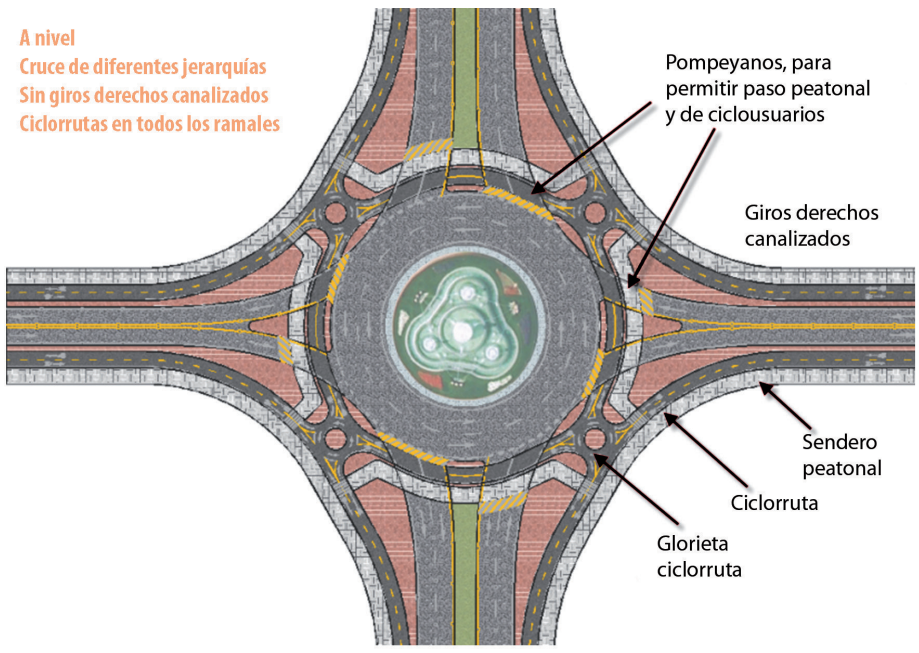
Figura 81. Ejemplos típicos de intersecciones tipo glorieta

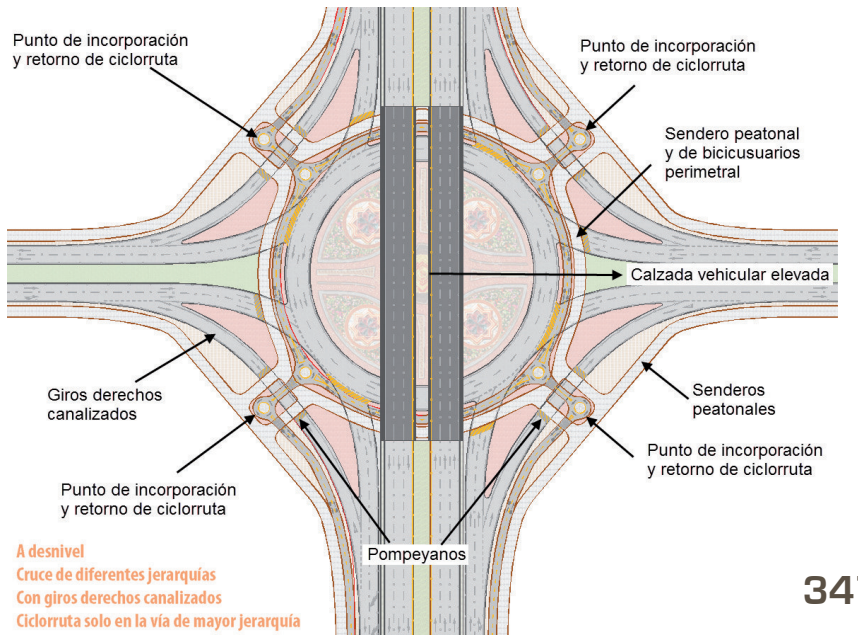












Fuente: Elaboración propia.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL MANEJO PEATONAL EN GLORIETAS NORMALES:

- **El peatón y el ciclista tienen la prelación.**
- **Los cruces peatonales deben realizarse lo más directos, cómodos y atractivos posible.**
- **Los cruces peatonales deben ser identificados fácilmente por cualquier actor vial.**
- **Se deben garantizar todos los movimientos posibles para peatones y ciclistas, con geometría coherente y segura, que satisfaga los lineamientos expuestos en esta Guía.**
- **Los estudios de tránsito y la respectiva modelación determinarán si es necesario implementar fases semaforizadas o pasos a desnivel para favorecer los indicadores de operación y la seguridad vial.**

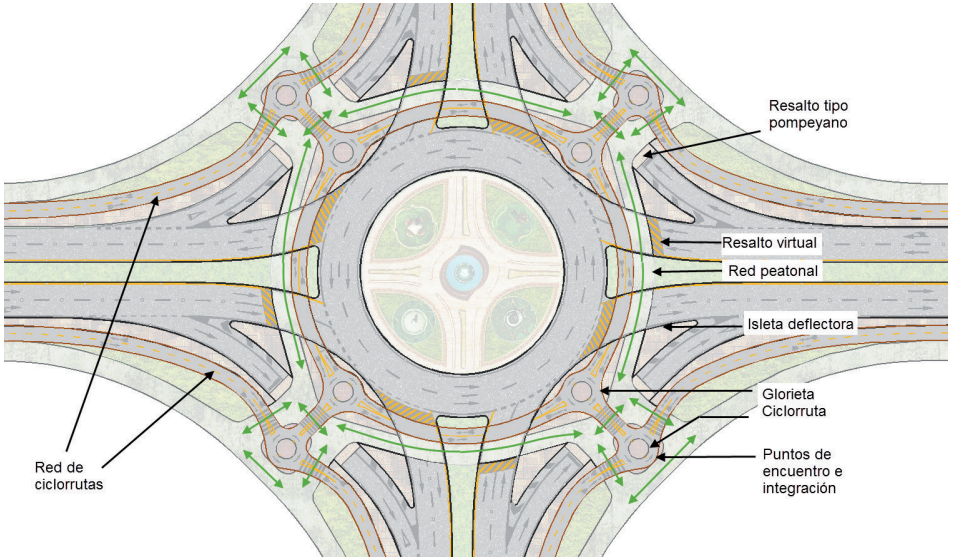
La localización o ubicación del sendero peatonal debe ser tal que garantice la visibilidad y seguridad de los actores viales que serán usuarios de la glorieta. En cuanto al peatón, el mejor sitio que encuentra para lograr el paso es antes del ingreso al anillo (línea de ceda el paso), ya que este lugar garantiza los menores recorridos para el peatón. Pero esta ubicación del sendero peatonal trae como consecuencia que los automóviles tengan que detenerse en la calzada anular cuando quieran salir de la glorieta mientras esperan que los peatones crucen, incrementando el riesgo de colisiones traseras en la calzada circular y zonas de abocinamiento. Si el sendero peatonal se ubica en un sito retirado de la entrada o salida de la glorieta aumenta la exposición al riesgo de atropellamiento pues en estas zonas las velocidades de los vehículos son más altas. En consecuencia, lo que esta Guía recomienda es la localización de resaltos virtuales (solo en pintura), en la zona de ceda el paso que adviertan al conductor la presencia peatonal con prioridad de circulación, pero sin afectar las condiciones de seguridad vial que sí se verían afectadas al implementar un resalto real.

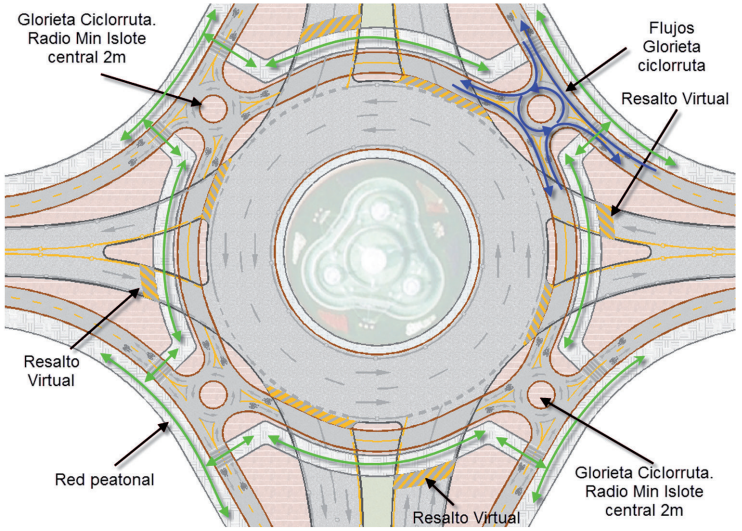
Cuando el volumen peatonal aumenta a tal punto que limita el funcionamiento o se eleva la accidentalidad se recomienda semaforizar la intersección o la construcción de pasos elevados que garantice a los peatones el paso cómodo y seguro.

Las opciones para el desarrollo de la franja de ciclorruta en las intersecciones tipo glorieta son variadas pero siempre estarán en función de brindar al peatón un paso seguro y cómodo. En el desarrollo de esta parte del documento se describirán diferentes alternativas de tratamiento que surgieron luego de un análisis integral de las áreas de diseño geométrico, tránsito y espacio público.

De la Figura 81 a la Figura 84 se observan diferentes tratamientos peatonales y de ciclistas a nivel para diferentes configuraciones de glorietas en los que se garantiza la integración y conectividad segura de los peatones y ciclousuarios a la ciudad. El cruce peatonal debe ser identificable a distancia permitiendo al conductor detectarlo con facilidad. Además, se observan las demarcaciones y las diferentes texturas que se utilizan para diferenciar los carriles de circulación vehicular, la ciclorruta y los senderos peatonales, que privilegien la circulación de ciclousuarios y peatones sobre la circulación vehicular.

Figura 82. Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 1 y 2





OPCIÓN 1: Glorieta a nivel con giros derechos canalizados y ciclorrutas en todos su ramales:

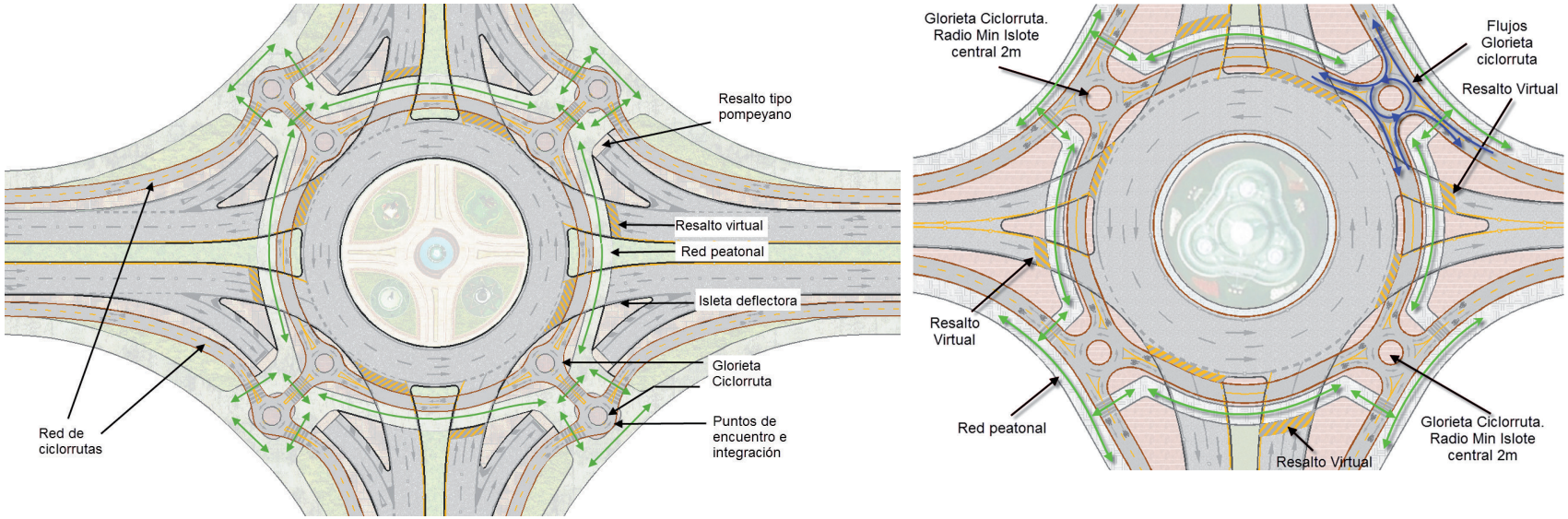
- Peatones y ciclousuarios cruzan perpendiculares a la intersección con el objetivo de aumentar la visibilidad.
- Peatones cruzan a nivel en giros derechos sobre pompeyano, vehículos se detienen totalmente.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para que vehículos cedan totalmente el paso.
- Glorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos posibles y permiten conexión a cualquier lugar de la red.

OPCIÓN 2: Intersección tipo glorieta de una vía tipo VAI y una vía local con ciclorruta y sin giros derecho canalizados:

- Peatones y ciclousuarios cruzan en redes peatonales y de ciclousuarios paralelos al anillo vial, tratando de generar cruces perpendiculares.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para que vehículos se detengan.
- Glorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos y permiten conexión a cualquier lugar de la intersección.
- Solución a flujos peatonales posibles.

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Figura 83. Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 3 y 4



OPCIÓN 3: Glorieta a nivel sin giros derechos canalizados y ciclorrutas solo en uno de sus ramales:

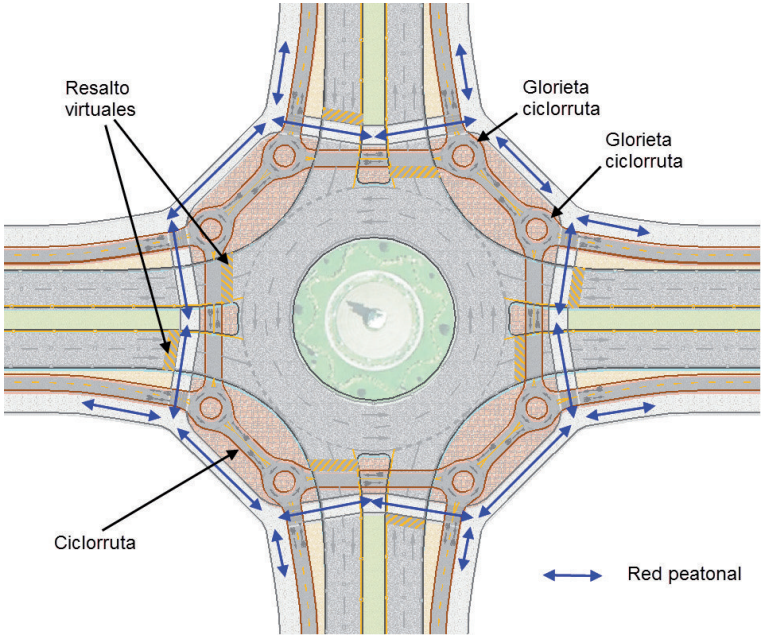
- Peatones y ciclousuarios hacen uso de infraestructura independiente, paralela al anillo vial.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para garantizar que los vehículos cedan el paso.
- Nodos de integración de ciclorrutas para solucionar los flujos y permitir la conexión a cualquier lugar de la intersección.
- Existen puntos de integración a ciclorrutas en los costados donde se carece de ella.
- Véase detalles Figura 87.

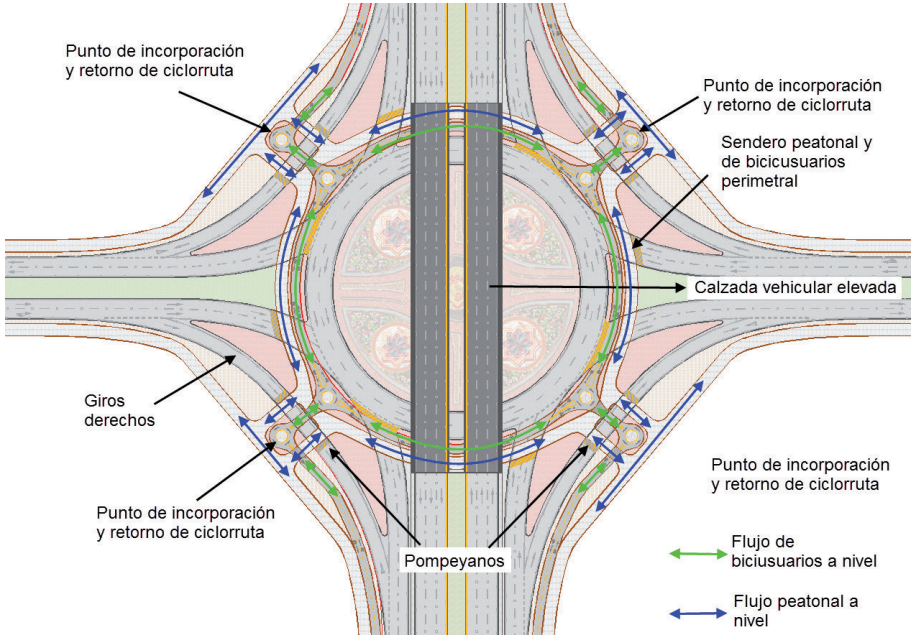
OPCIÓN 4: Intersección tipo glorieta de dos jerarquías viales diferentes, sin giros derechos canalizados y con ciclorruta en uno de los ramales:

- Peatones y ciclousuarios hacen uso de infraestructura independiente, paralela al anillo vial.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para garantizar que los vehículos cedan el paso.
- Miniglorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos y permiten conexión a cualquier lugar de la intersección.
- Existen puntos de integración a ciclorrutas en los costados donde se carece de ella.
- Véase detalles Figura 87.

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Figura 84. Manejo peatonal y de ciclousuarios Opciones 5 y 6





OPCIÓN 5: Glorieta a nivel sin giros derechos canalizados y ciclorrutas en todos sus ramales

- Peatones cruzan vías en disposición diagonal
- Pasos de flujos no motorizados perpendiculares a las calzadas vehiculares, para garantizar la visibilidad.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para garantizar que los vehículos cedan el paso.
- Nodos de integración de ciclorrutas para solucionar los flujos y permitir la conexión a cualquier lugar de la intersección.
- Véase detalles Figura 88.

OPCIÓN 6: Paso directo a desnivel + glorieta para solucionar giros izquierdos:

- Flujos peatonales y de ciclousuarios a nivel en trayectorias paralelas al anillo circular (por debajo del puente vehicular) solucionando todos los flujos.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para garantizar que los vehículos cedan el paso.
- Peatones y ciclousuarios cruzan a nivel en giros derechos sobre semipompeyano, vehículos se detienen totalmente. El cruce es perpendicular a las trayectorias vehiculares para favorecer la visibilidad.
- Miniglorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos y permiten conexión a cualquier lugar de la intersección.
- Existen puntos de integración a ciclorrutas en los costados donde se carece de ella.
- Véase detalles Figura 88.

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

La geometría dada a la ciclorruta permite un manejo de todos los flujos con los menores conflictos posibles permitiendo la continuidad y la integración a las demás zonas de la red de ciclorrutas. Cuando las franjas de circulación cruzan sobre vías locales, el tratamiento debe ser igual al planteado para la malla vial intermedia; la lectura para conductores y usuarios no moto- rizados no cambia; el concepto es el mismo, la red de usuarios no motorizados primará sobre la circulación vehicular y la solución de los flujos de peatones y ciclistas se deberá realizar garantizando que estos se pueden dirigir a cualquier destino sin ningún contratiempo.

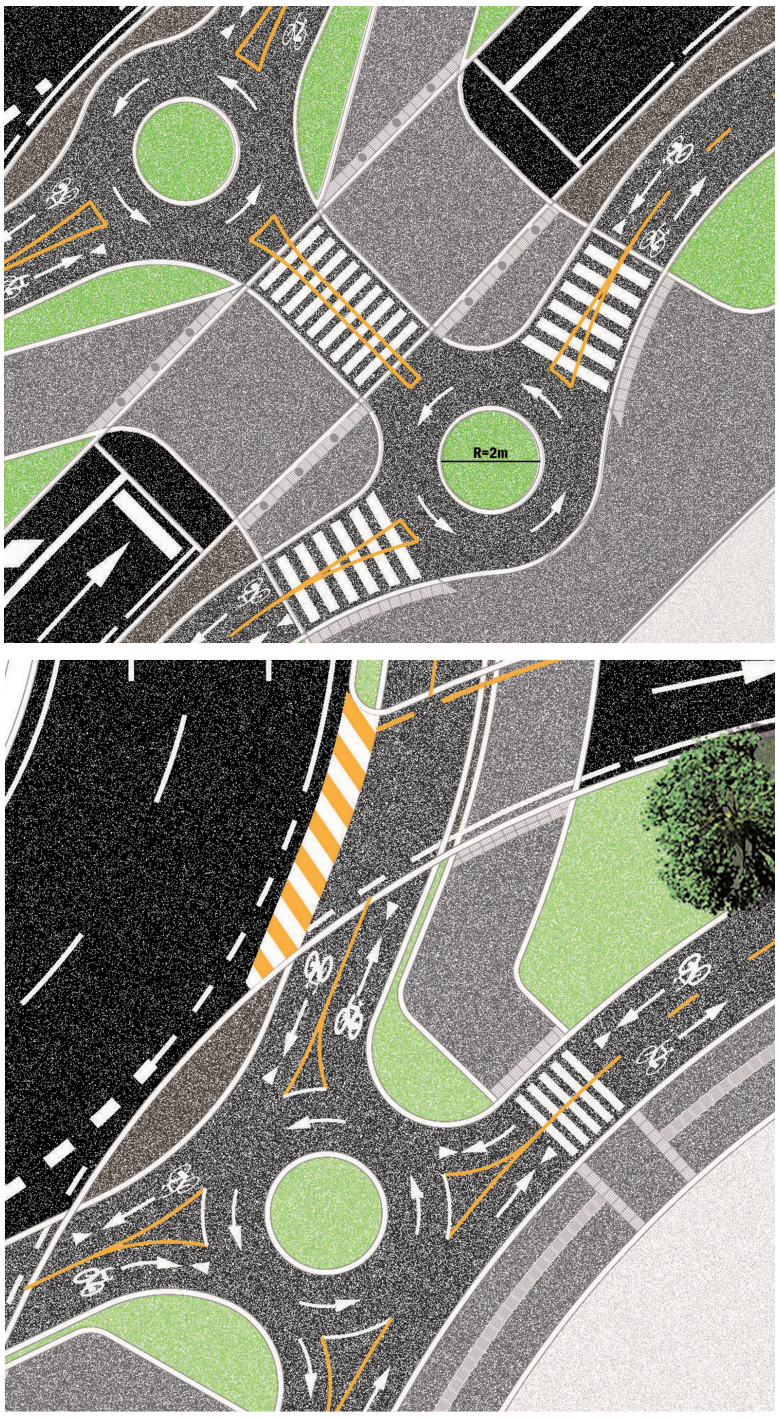
Las alternativas presentadas varían en el tipo de giro que puede hacerse o en la disponibilidad o no de ciclorrutas por todos los ramales de la intersección los cuales condicionan las formas de incorporación a la ciclorruta. A pesar de estas variaciones, la conexión de la red de ciclousuarios siempre debe ser legible y clara, buscando la integración a la red de ciclorrutas, y solucionando todos los flujos posibles. En estas soluciones se busca un manejo integral de los peatones y ciclistas de modo que se incentiven estos modos de transporte.

También se puede apreciar, cómo el punto de integración o la miniglorieta de la ciclorruta sirve como nodo de conexión hacia múltiples destinos, y como zona de integración de otros ciclistas que circulan por vías carentes de ciclorrutas y hacen uso de éste punto para acceder a la red. De acuerdo con lo anterior, estos puntos de integración deben tener todas las especificaciones geométricas, arquitectónicas y paisajísticas con el fin de garantizar la seguridad, comodidad y atracción de los usuarios.

En la opción 6, presentada en la Figura 84, se observa la intersección de dos vías importantes con alto flujo vehicular, en la cual la vía de mayor importancia se eleva, mientras que la otra vía pasa a nivel ingresando a la glorieta, la cual además sirve para solucionar los giros izquierdos de la vía principal. Una variante de esta alternativa, útil para flujos peatonales y vehiculares altos, es habilitar la glorieta exclusivamente para giros izquierdos y retornos, pasando ambos flujos directos a desnivel, uno deprimido y otro elevado, y los giros derechos en carriles canalizados. En estos casos, el manejo peatonal y de ciclousuarios se mantendrá a nivel, otorgando mayor comodidad y seguridad al usuario y garantizando la solución de todos los flujos posibles además de zonas de integración, semipompeyanos o cruces a nivel en los giros derechos canalizados y sobre todo, la integración con cada uno de los diferentes sectores de la intersección.

En la Figura 85 se especifican las características geométricas y de señalización de las diferentes opciones mencionadas anteriormente.

Figura 85. Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal



Radio islote central miniglorieta para ciclorruta = 2 m mínimo.
Ancho para ciclorruta Bidireccional = 3 m mínimo.
Ancho para franja de circulación peatonal = 3.5 m mínimo.

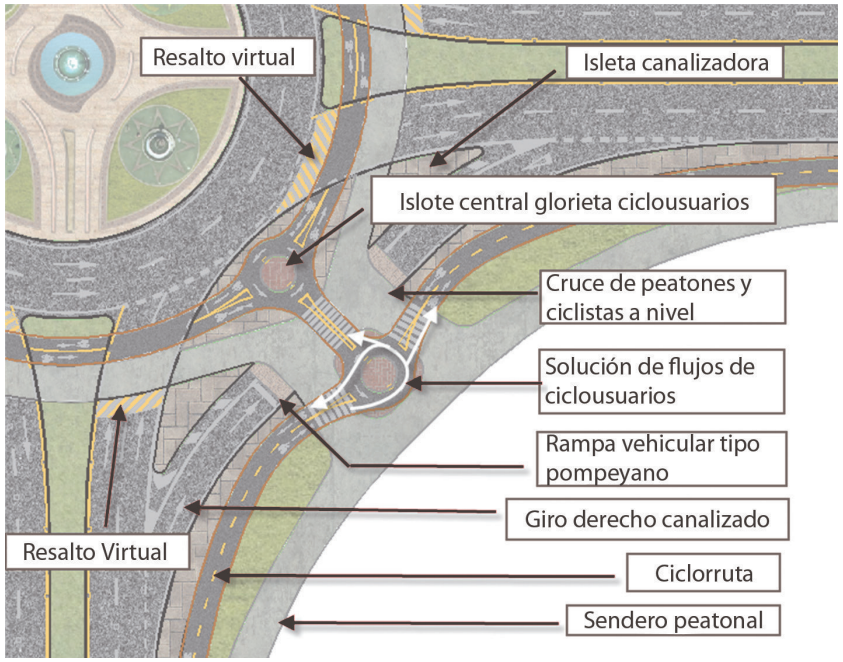
Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

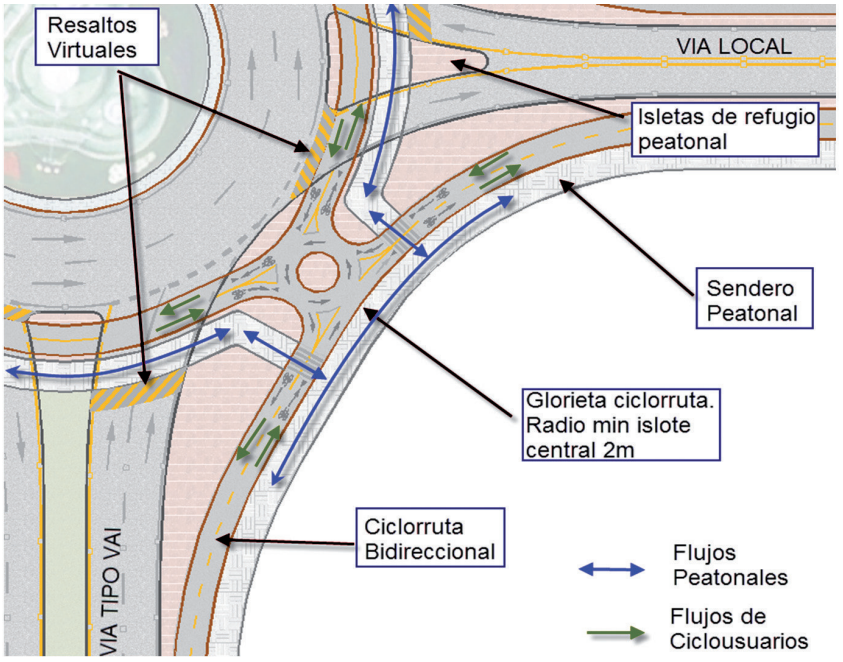
Además de las anteriores características, para el manejo de ciclousuarios se recomienda disminuir la presencia de obstáculos que puedan reducir la visibilidad de las bicicletas, e implementar texturas, materiales, señalización y demarcación específicos y especializados para cada caso.

La implementación de infraestructura peatonal y de ciclistas en torno a la calzada anular se considera pertinente y segura en intersecciones tipo glorieta con flujos peatonales y vehiculares moderados. Si las consideraciones expuestas anteriormente se aplican de forma precisa, existirá una definición clara del espacio a ocupar por cada usuario, las prioridades de circulación serán más claras, las distancias de recorrido más cortas, y la conectividad y conexión hacia cualquier zona de la red de espacio público y ciclorrutas será más expedita y segura.

Por último, es importante mencionar que la opción de dar prioridad a los flujos de bicicletas y peatones en las zonas de acceso a la intersección, puede afectar los indicadores de operación, incrementándose demoras y longitudes de cola. Por tal motivo es importante que desde las primeras etapas del proyecto los análisis de tránsito concluyan respecto a la necesidad de canalizaciones a desnivel para modos no motorizados; de ser necesario, se debe tratar de utilizar configuraciones semideprimidas y semielevadas para los vehículos, que favorezcan los recorridos de los actores más vulnerables en el nivel cero o intermedio, para ofrecerles trayectorias más cortas.

Figura 86. Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios A





OPCIÓN 1: Glorieta a nivel sin giros derechos canalizados y ciclorrutas en todos sus ramales

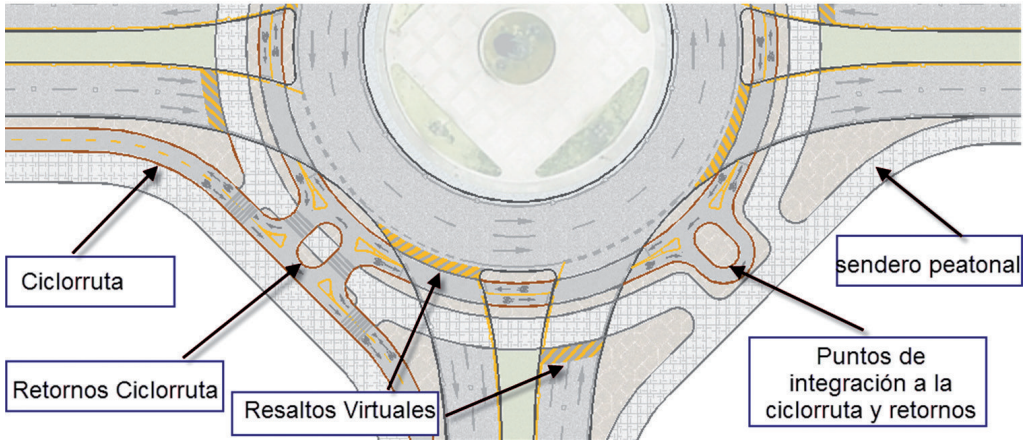
- Semipompeyano sobre giros derechos canalizados obliga a detener totalmente a los vehículos para permitir el paso peatonal seguro.
- Infraestructura peatonal y de ciclorruta utiliza la misma zona de reserva que se requeriría sin este manejo.
- Resaltos virtuales al ingreso y salida de la calzada vehicular hacen que los vehículos se detengan, permitiendo el paso prioritario de peatones y ciclousuarios sin afectar la seguridad vial.
- Miniglorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos posibles dentro de la intersección. Los flujos peatonales también están dados en todas las direcciones.

OPCIÓN 2: Intersección tipo glorieta de dos jerarquías viales con ciclorruta en todos los ramales y sin giros derechos canalizados:

- Semipompeyano sobre giros derechos canalizados obliga a detener totalmente a los vehículos para permitir el paso peatonal seguro.
- Resaltos virtuales al ingreso y salida de la calzada vehicular hacen que los vehículos se detengan, permitiendo el paso prioritario de peatones y ciclousuarios sin afectar la seguridad vial.
- Miniglorietas en ciclorruta solucionan todos los flujos posibles dentro de la intersección. Los flujos peatonales también están dados en todas las direcciones.

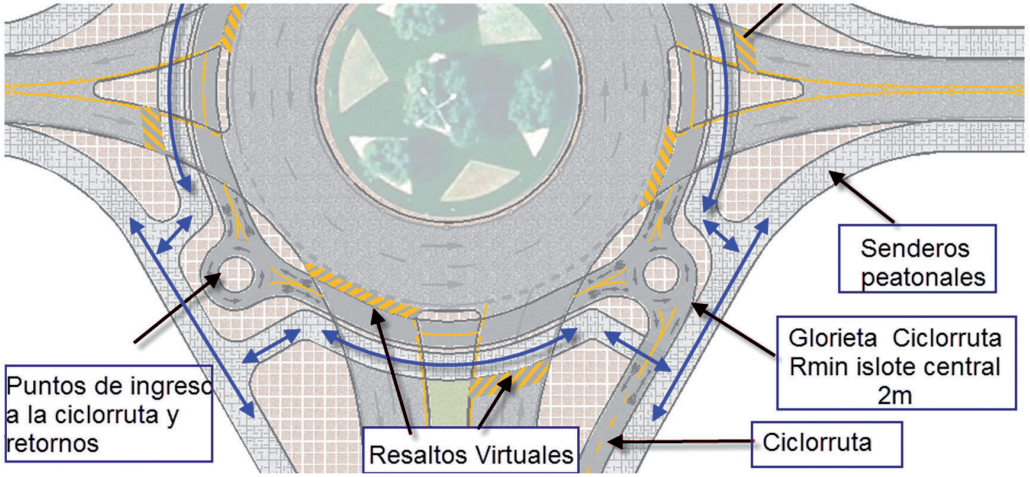
Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Figura 87. Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios B



OPCIÓN 3: Glorieta a nivel sin giros derechos canalizados y ciclorrutas en uno de sus ramales.

- La ciclorruta debe rodear el anillo vial de manera que se garantice la integración y la salida segura hacia costados donde no existe ciclorruta.
- Los resaltos virtuales se incluyen en todos los ingresos y salidas de la calzada anular vehicular, con el objetivo de garantizar la prioridad de los peatones y ciclousuarios sin afectar la seguridad vial.
- Existen puntos de integración e incorporación a la red de ciclorrutas desde puntos sin ciclorruta habilitada. Estos puntos además solucionan todos los flujos de ciclousuarios de forma segura y cómoda.

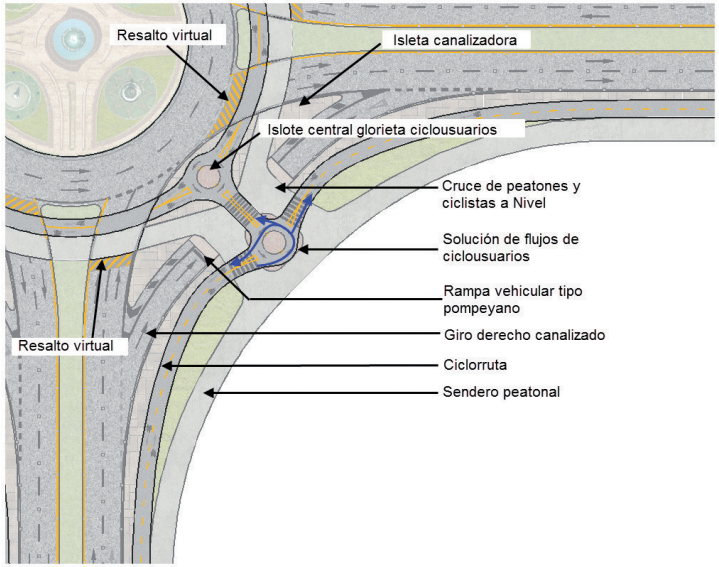


OPCIÓN 4: Intersección tipo glorieta de dos jerarquías viales diferentes, sin giros derechos canalizados y con ciclorruta solo uno de los costados:

- Aplican las mismas premisas descritas anteriormente sin importar si alguno de los ramales son vías locales.

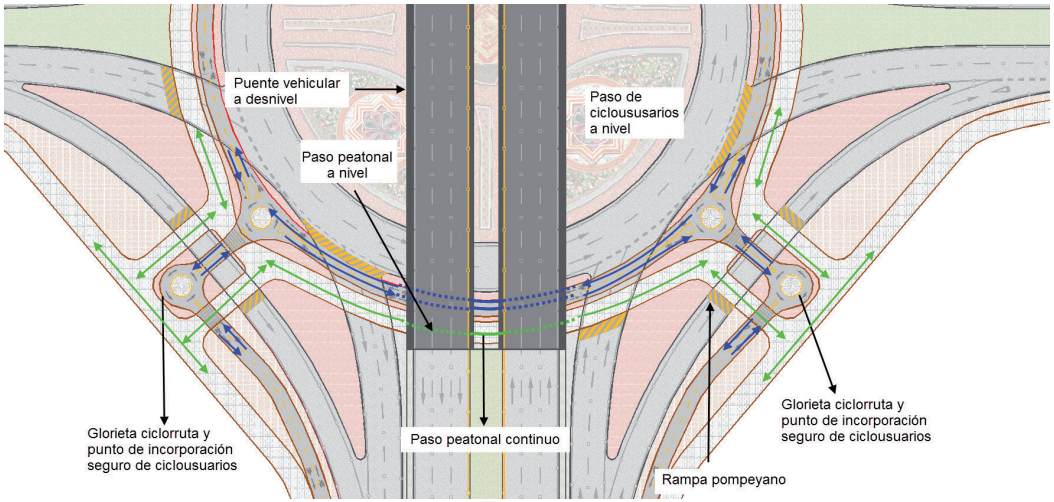
Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Figura 88. Ejemplo de glorietas con manejo de ciclousuarios C



OPCIÓN 5: Glorieta a nivel con giros derechos canalizados y ciclorrutas en todos sus ramales:

- Peatones y ciclousuarios cruzan a nivel en giros derechos sobre semipompeyano, vehículos se detienen totalmente. El cruce es perpendicular a las trayectorias vehiculares para favorecer la visibilidad.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para garantizar que los vehículos cedan el paso.
- Infraestructura peatonal y de ciclousuarios ocupa el mismo espacio que una solución convencional, generando una optimización de la zona de reserva.
- Miniglorietas en ciclorruta permiten la solución de todos los posibles flujos de la intersección, de forma segura y cómoda.
- Solución a flujos peatonales posibles de la intersección.



OPCIÓN 6: Paso directo a desnivel + glorieta para solucionar giros izquierdos:

- Flujos peatonales y de ciclousuarios a nivel en trayectorias paralelas al anillo circular (por debajo del puente vehicular) solucionando todos los flujos con mayor seguridad.
- En conexión de ramales a anillo circular, existen resaltos virtuales para que vehículos cedan totalmente el paso.
- Peatones y ciclousuarios cruzan a nivel en giros derechos sobre semipompeyano, vehículos se detienen totalmente. El cruce es perpendicular a las trayectorias vehiculares para favorecer la visibilidad.
- En los accesos también aplica el concepto de resalto virtual.

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S

6.6.1 Manejo de espacio público

El manejo de espacio público contribuye a la comodidad en el tránsito peatonal y vehicular permitiendo además una identificación clara del espacio destinado a los diferentes actores.

El espacio público debe ser atractivo tanto para peatones como para ciclousuarios con el objetivo de permitir tránsitos agradables y cómodos. Sumado a esto, la red peatonal debe estar conectada de manera directa y clara con la demás estructuras que permiten la circulación peatonal y de ciclistas con el fin de garantizar la continuidad en la movilidad además de acceso a los diferentes espacios públicos que debe tener la intersección como zonas de descanso, integración e hidratación.

Las siguientes recomendaciones deben ser tenidas en cuenta por parte del diseñador en el manejo de espacio público.

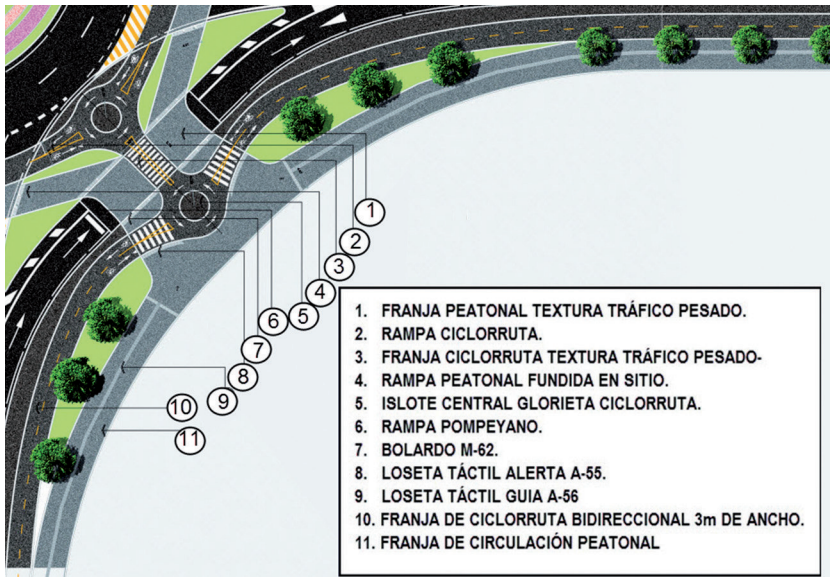
- La franja de circulación debe ser de un ancho mínimo de 3 m según el POT.

- Para puntos de cruce entre la red peatonal o de ciclousuraios y la red vehicular: (a) en giros derechos canalizados se diseñarán semipompeyanos que garanticen la prelación del actor más vulnerable. (b) En los accesos a la glorieta se ubican solamente resaltos virtuales para otorgar la prelación sin afectar la capacidad, ni la seguridad vial.

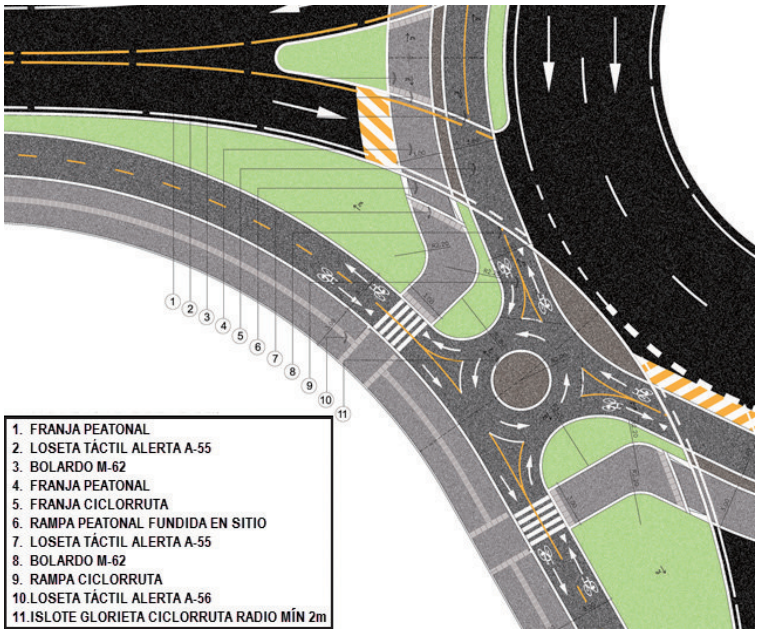
- Cuando la red peatonal se cruza en el recorrido con la red de ciclousuarios, debe haber cambio de textura, complementado con las losetas táctiles tipo Alerta A-55 o A-56, con el fin de facilitar la movilidad de peatones con algún tipo de limitación.

- La canalización de los flujos de la red peatonal y la red de ciclousuarios, hace que dichas redes sean identificables, claramente definidas, visibles y continuas.

Figura 89. Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas A

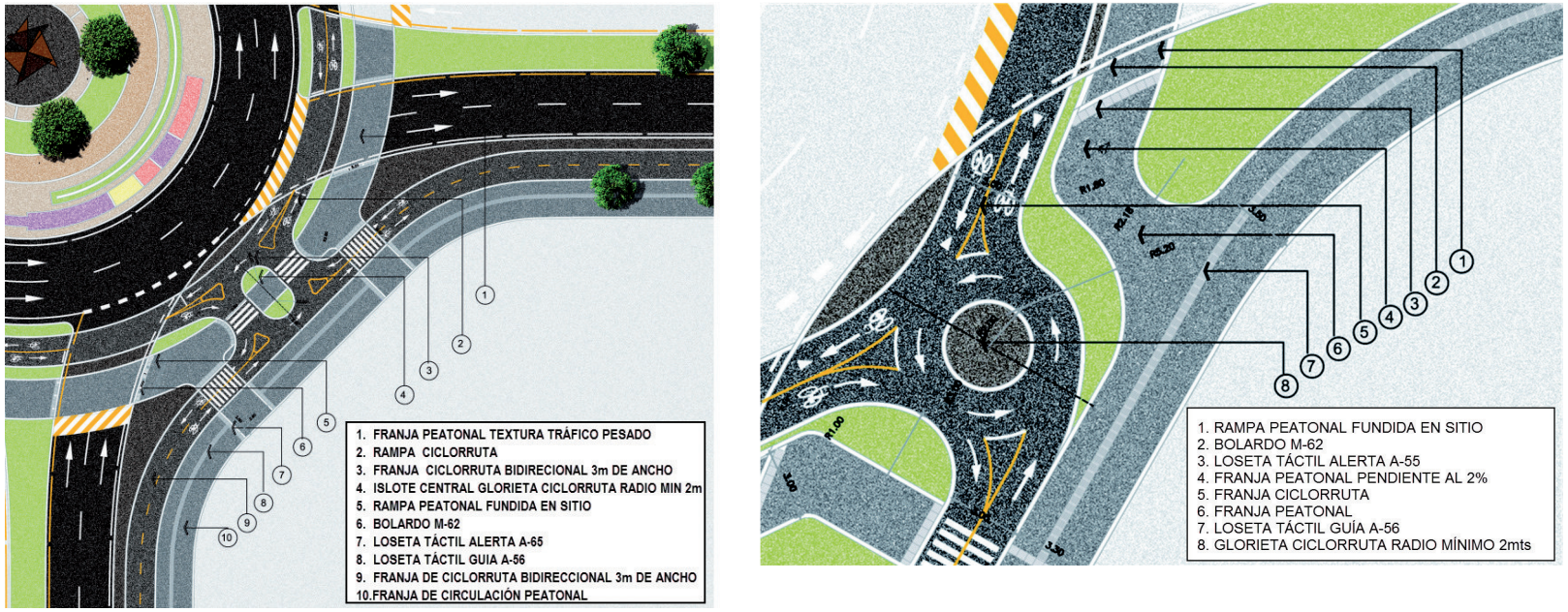


MANEJO DE ESPACIO PÚBLICO OPCIÓN 1



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

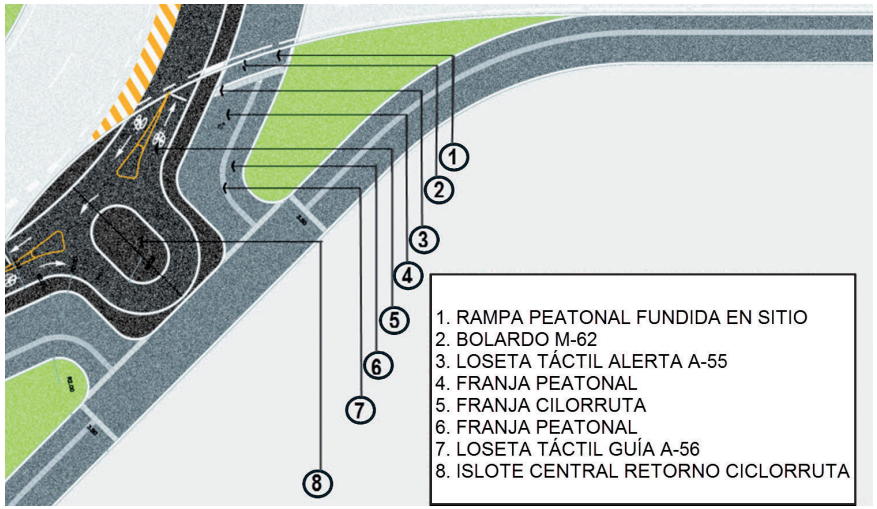
Figura 90. Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas B

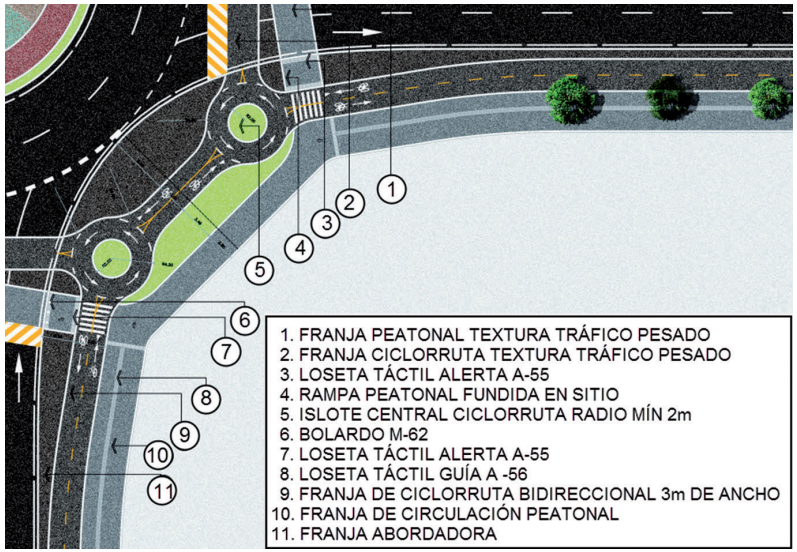


MANEJO DE ESPACIO PÚBLICO OPCIÓN 3 y 4

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Figura 91. Manejo de espacio público en intersecciones tipo glorietas C





ZONAS DE INCORPORACIÓN EN OPCIONES 3 Y 4 y OPCIÓN 4

Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

6.7 CONSIDERACIONES PARA EL PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO

El tratamiento de paisaje para las rotondas debe limitarse a césped y en casos especiales a rastreras y follaje de poca altura, con el fin de no interferir la distancia de visibilidad; este tratamiento es fundamental para la seguridad de los usuarios. El paisajismo propuesto contribuye a mejorar la legibilidad de la glorieta, los árboles, el follaje, monumentos o esculturas de gran formato determinan los puntos de interés y referencia pero pueden ser causantes de distracción o interferir en la visual del conductor. No obstante, elementos paisajísticos seleccionados por su tamaño, dispuestos en la isla central mejoran la percepción de la glorieta desde la distancia, sin bloquear el punto de vista del conductor entrante.

En general, el propósito del paisajismo es diferenciar la glorieta en el entorno y los alrededores inmediatos; elementos como las luminarias la resaltan y marcan además de ayudar en condiciones desfavorables de iluminación.

6.8 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN

A pesar de un óptimo diseño geométrico que se realice de este tipo de intersecciones es necesario desarrollar una señalización tanto vertical como horizontal con el fin de reforzar la comprensión de la intersección y garantizar las condiciones de seguridad. Por tal motivo a continuación se explicará la señalización que debe llevar este tipo de intersecciones. En todo caso dependerá del manual de señalización vigente.

Señalización Vertical

De acuerdo con el manual de señalización del INVIAS a continuación se muestra el siguiente esquema de la señalización que debe llevar una intersección tipo glorieta.

- **Señal SP-20 Glorieta:** en todos los ramales de aproximación a la glorieta se debe emplear esta señal para advertir a los conductores el tipo de intersección.
- **Señal SI-05B Croquis:** esta señal se emplea para informar a los conductores sobre los diferentes destinos y sus correspondientes movimientos en la glorieta y conexiones a desnivel.
- **Delineador de obstáculo para tránsito para calzada bidireccional:** se utiliza al inicio de las isletas deflectoras en calzadas bidireccionales.
- **Delineador de obstáculo para el tránsito por ambos lados del obstáculo:** se ubica en la isleta deflectora entre la calzada anular y el ramal de salida.
- **Señal SR-02 Ceda el paso:** se ubica en cada uno de los ramales de entrada a la glorieta; en las entradas que poseen dos o más carriles se deben colocar la señal a cada costado del ramal de ingreso.

- **Señal SI-05 Información previa de destino:** esta señal se ubica en las isletas deflectoras en los ramales de salida para indicar los destinos que posee la intersección.

- **Señal SI-06. Confirmativa de destino:** esta señal se emplea para informar a los conductores después de paso por la intersección el nombre y el kilometraje, por recorrer para llegar a los destinos indicados por la señal.

- **Señal SP-33. Prevención de ceda el paso:** esta señal se emplea para advertir a los conductores la existencia de una señal reglamentaria de ceda el paso cuando no es visible desde una distancia suficiente como para poder disminuir la velocidad sin apuros.

- **Señal SP-46A. Cruce de peatones:** requerida en la proximidad del cruce peatonal, para advertir a los conductores la presencia de otro actor vial.

- **Señal SP-59A. Cruce de ciclistas:** requerida en la proximidad del cruce de ciclistas, para advertir a los conductores la presencia de otro actor vial.

- **Señal SR-17. Vehículos pesados a la derecha:** algunas glorietas se diseñan con el carril externo más ancho para garantizar una trayectoria cómoda y segura de los vehículos pesados; por esta razón se utiliza señal para notificar a los conductores de esta situación.

- **Señal SR-30 Velocidad máxima:** esta señal se emplea para notificar a los conductores la velocidad máxima a la que puede circular debido a la proximidad de la intersección

- **Señal SR-41 Prohibido dejar o recoger pasajeros:** esta señal se emplea para notificar a los conductores que el ascenso y descenso de pasajeros no está permitido en las inmediaciones de la glorieta, excepto si está habilitada de manera segura como punto de intercambio modal, en el marco del SITP.

Señalización Horizontal

La demarcación horizontal de una intersección tipo glorieta debe realizarse siguiendo la reglamentación y disposiciones que se encuentran en el manual de señalización vial vigente. No obstante, es conveniente realizar algunas consideraciones con el objeto de contribuir al máximo a los objetivos de seguridad y funcionamiento de la intersección.

- **Ramales de acceso:** la demarcación de los ramales de acceso es de gran importancia ya que puede contribuir a la percepción lejana de la glorieta, resaltando su geometría, en el encuentro de los ramales de entrada con la calzada anular; en este lugar se dispone de una línea de ceda el paso y de la marca vial del mismo significado. La isleta deflectora debe incluir demarcación del objeto en pintura tal como lo describe la normatividad.

  El diseño de señalización contempla tachas reflectivas, las cuales deben disponerse como se indica en las normas correspondientes.

- **Señalización de la calzada anular:** se debe disponer de una línea de borde en el interior de la calzada anular.

- **Señalización peatonal:** para la señalización de los cruces peatonales, se debe realizar una demarcación del sendero peatonal y de la ciclorruta, acompañada de señales preventivas como resaltos virtuales y señales de paso peatonal antes de llegar a la intersección; en los carriles de giro derecho canalizado se deben demarcar los semipompeyanos de modo que se pueda alertar oportunamente al vehículo.

7. INTERSECCIONES CON OREJAS

Nota: Todas las recomendaciones del numeral 7 son aplicables a tréboles y trompetas. Para intersecciones basadas en giros direccionales y semidireccionales pueden extrapolarse los conceptos vistos a los largo de la Guía, especialmente en el Capítulo 3 y en el numeral 4 del presente capítulo.

En ámbitos urbanos, la necesidad de mejorar las condiciones de movilidad y seguridad de una intersección ha llevado a plantear diferentes opciones que buscan segregar los flujos que se presentan en intersecciones de vías con altos flujos vehiculares. Uno de los tipos de intersecciones más usados para lograr este objetivo es aquel que utiliza orejas para enlazar los flujos principales que se encuentran a distintos niveles; dentro de este tipo de intersecciones se encuentran los tréboles (completos y parciales) y las trompetas.

Usualmente los documentos de diseño geométrico habilitan este tipo de solución, con exclusividad para sectores suburbanos, sin embargo, es claro que en Bogotá la mayoría de corredores arteriales (por ejemplo la Av. Boyacá, la Av. 68 y la denominada Autopista Norte) se han consolidado bajo la implementación de intercambiadores viales que encajan dentro del conjunto de intersecciones con orejas. Los lineamientos en torno a su uso con exclusividad en sectores suburbanos se derivan por un lado de su alta ocupación en términos de áreas y por otro, del manejo peatonal que hasta ahora no ha sido tratado con eficiencia y seguridad. No obstante, la geometría de las orejas se ha venido modificando con el fin de disminuir el impacto urbanístico y visual, manteniendo la misma funcionalidad; en cuanto al manejo peatonal, son claras las deficiencias y la necesidad de implementar verdaderas soluciones para los modos no motorizados en este tipo de intersecciones, incluso en las existentes. Es por eso, que esta Guía ofrece una solución innovadora, que si bien no es única, pretende motivar al diseñador a idear alternativas para que el usuario más vulnerable tenga siempre la prioridad y pueda hacer uso de una infraestructura coherente, directa, segura, confortable y atractiva.

En esta sección se busca establecer algunas consideraciones geométricas que orienten al diseñador en sus planeamientos.

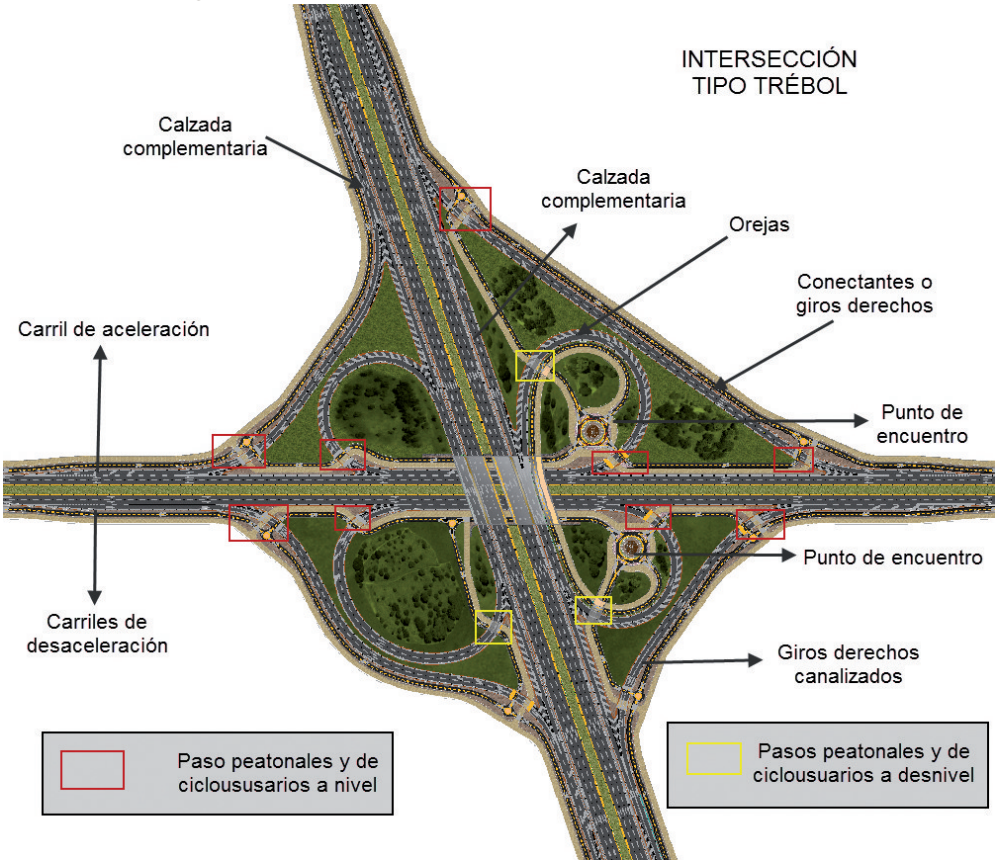
7.1 CONSIDERACIONES PLANIMÉTRICAS

Las consideraciones planimétricas a tener en cuenta están basadas fundamentalmente en la geometría de las orejas: alineamientos, ancho, longitud y manejo de las bifurcaciones, así como en las zonas de aceleración, desaceleración y entrecruzamiento. Es fundamental que desde el inicio del planeamiento geométrico se tenga en cuenta la forma en la que se va a realizar el tratamiento de los recorridos peatonales y en bicicleta, ya que estos condicionan completamente la geometría en planta y rasante de la solución vehicular.

La Figura 92 deja ver los elementos a considerar en el diseño:

- Orejas: rampas de enlace que permiten realizar el giro izquierdo saliendo por la derecha.
- Calzadas complementarias: calzadas habilitadas en la zona de la intersección para controlar el entrecruzamiento entre orejas e independizar las corrientes vehiculares de paso directo y las de conexión con giros izquierdos y derechos.
- Giros derechos canalizados: enlaces que permiten realizar el giro derecho con independencia de los demás movimientos.
- Carriles de aceleración y desaceleración.
- Espacios peatonales.

Figura 92. Elementos de la intersección tipo trébol



Fuente: Elaboración propia (idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S)

7.1.1 Orejas

Anteriormente las orejas se diseñaban partiendo de una zona en la que la rasante del puente ya hubiese descendido, con el fin de que la oreja no fuese una rampa, sino que tuviera una configuración lo más similar posible a un giro por manzana, y se evitará así la construcción de estructuras y taludes. Sin embargo, esta alternativa representaba varios factores indeseables: debido a la mayor longitud entre la convergencia de una oreja y la divergencia de la siguiente el concepto de carril de entrecruzamiento se tergiversa y se convierte simplemente en una zona de ampliación de la sección transversal que posteriormente se reduce, generando un cuello de botella incluso para los vehículos de paso directo; mayor área requerida para la conformación geométrica de la oreja y deficiencias en el manejo de velocidades específicas por temas asociados a la existencia de radios mínimos seguidos de tramos rectos en los que es factible ganar velocidad, son otros de los factores indeseables de esta alternativa.

Figura 93. Diseño antiguo de orejas - evitar en el diseño moderno



Fuente: Google Earth.

En consecuencia, las orejas han evolucionado hacia el concepto de rampas más directas, diseñadas con concatenaciones especiales, para que incluso haciendo uso del radio mínimo según la velocidad de diseño, se logre una transición progresiva de velocidades específicas, mediante un cambio gradual de la curvatura y un correcto manejo de peraltes, que garanticen la seguridad y comodidad que el usuario requiere para este tipo de maniobras.

Configurar orejas que diverjan de los puentes cuando aún estos están elevados, permite disminuir la longitud del enlace, ocupar un menor espacio y configurar pasos peatonales con segregación vertical que provechen la diferencia de rasantes y el talud de relleno, mediante una estructura tipo box. Al respecto véase Figura 95 y numeral 7.3 del presente capítulo. No obstante, en términos de visibilidad pueden ser más exigentes, si estas se realizan en curva; por lo tanto deben seguirse los lineamientos expuestos en el numeral 4.3 del presente capítulo.

Por lo general en las orejas no se permite el adelantamiento, aunque se deja habilitado un ancho en función de las trayectorias vehiculares (mínimo 5.0 m) que permita sobrepaso en caso de eventualidades. No obstante cuando existan orejas que posean una longitud mayor a 120 m, debe habilitarse un ancho para circulación en dos carriles (mínimo 7.0 m), pero en todo caso, la demarcación que lo reglamente dependerá de que exista o no la suficiente distancia de visibilidad de adelantamiento (Véase Capítulo 3). Aunque existan dos carriles, debe tenerse en cuenta que la convergencia y la divergencia de la oreja deberá realizarse con la posibilidad de que un único vehículo se incorpore; por lo tanto la longitud donde se habilite circulación doble será medida desde las canalizaciones de 2 carriles a 1 en antes de las zonas de bifurcación.

En la Figura 94 se presentan los diferentes tipos de orejas recomendadas en una intersección tipo trébol, cuya diferencia radica en las concatenaciones utilizadas y en los radios implementados de acuerdo con el espacio disponible en la zona.

Figura 94. Concatenaciones usadas en una intersección a desnivel tipo trébol



Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior, la oreja del cuadrante superior izquierdo y la del cuadrante inferior derecho, tienen una configuración del tipo ECT - TCE. En este caso no existe independencia de los ejes antes de la nariz de entrada a la oreja, por lo cual las pendientes y peraltes están completamente condicionadas a las de la calzada principal y solo se desarrollan con independencia unos metros más adelante, dentro de la oreja.

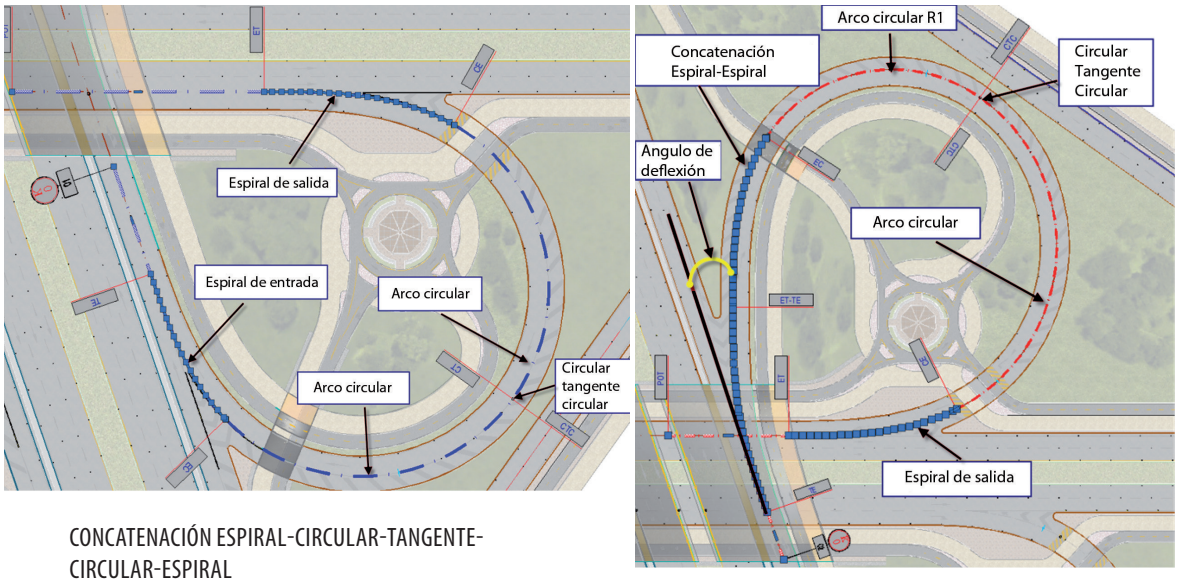
En cuanto a la oreja del cuadrante superior derecho, ésta presenta un vértice adicional en la entrada que permite un ángulo de deflexión mayor en la divergencia, de modo que se consigue independizar los ejes de diseño desde antes de la nariz, con el objeto de desvincular las rasantes

y lograr una transición de curvatura y peralte más cómoda y segura. La concatenación usada corresponde a una del tipo EE - ECT - TCE y es la más recomendada para convergencias y divergencias con curva vertical convexa.

En la oreja que se encuentra en el cuadrante Izquierdo inferior, la configuración usada corresponde a una ECT - C - TCE, implementada cundo el espacio disponible es mayor. La particularidad recae en que las tres circulares pueden tener radios diferentes (pero que satisfagan el delta máximo de velocidades), para otorgar formas achatadas o convenientes para el espacio disponible.

A continuación se describe cada una de las orejas del trébol mostrado en la Figura 94, para observar detalladamente las concatenaciones usadas.

Figura 95. Ejemplos de orejas utilizados en una intersección tipo trébol-Ficha A



CONCATENACIÓN ESPIRAL-CIRCULAR-TANGENTE-CIRCULAR-ESPIRAL

Los ingresos y las salidas de esta oreja se encuentran espiralizados con el objetivo de aumentar la seguridad y la comodidad de los usuarios. En cuanto a las circulares se recomienda que sean del mismo radio por simetría, comodidad y manejo de peraltes.

Dada la longitud menor a 120 m no se permite el adelantamiento a pesar de poseer un ancho de 5 m.

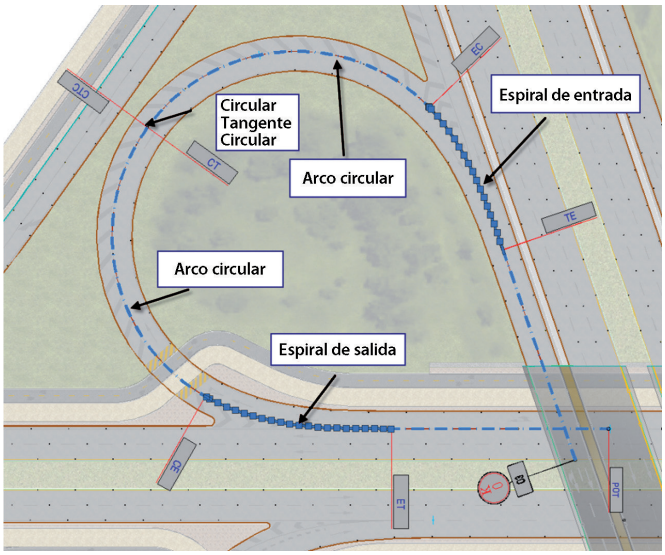
En cuanto a las pendientes y la transición de peraltes, predomina el de la calzada principal hasta la nariz, punto a partir del cual se pueden independizar.

CONCATENACIÓN ESPIRAL-CIRCULAR-TANGENTE-CIRCULAR-ESPIRAL

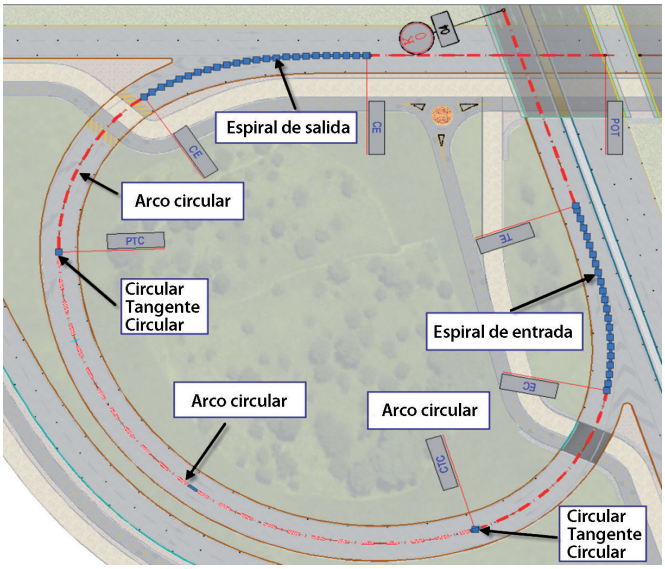
Presenta un vértice adicional en el ingreso que permite una deflexión mayor en la divergencia para lograr independizar peraltes y las rasantes desde antes de llegar a la nariz. Esto obliga a que se presente una concatenación Espiral-Espiral en la salida, la cual conecta a la concatenación Espiral-Circular Tangente. Los radios de las curvas circulares pueden ser diferentes, cumpliendo criterios de transición de velocidades.

Fuente: Idea Original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectura S.A.S.

Figura 96. Ejemplos de orejas utilizados en una intersección tipo trébol-Ficha B



CONCATENACIÓN ESPIRAL-CIRCULAR-TANGENTE-CIRCULAR-ESPIRAL
Presenta las mismas configuraciones analizadas en la Oreja 1



CONCATENACIÓN ESPIRAL-CIRCULAR-CIRCULAR-CIRCULAR-ESPIRAL
Se utiliza un arco circular adicional para enlazar las concatenaciones Espiral-Circular-Tangente y Tangente-Circular-Espiral. Al igual que en la oreja 1 y 3 el peralte se desarrolla en su mayoría después de la nariz aunque también es susceptible de implementar las variaciones para incorporar el vértice adicional y aumentar así la deflexión a la salida e independizar con antelación los ejes.
Presenta una longitud mayor de manera que se puede permitir el adelantamiento si la distancia de visibilidad de adelantamiento lo permite.

Fuente: Idea Original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectura S.A.S.

Nota: Para temas de diseño planimétrico y altimétrico en las convergencias y divergencias véase el numeral 4 asociado a las consideraciones en el diseño de bifurcaciones.

7.1.2 Calzadas complementarias

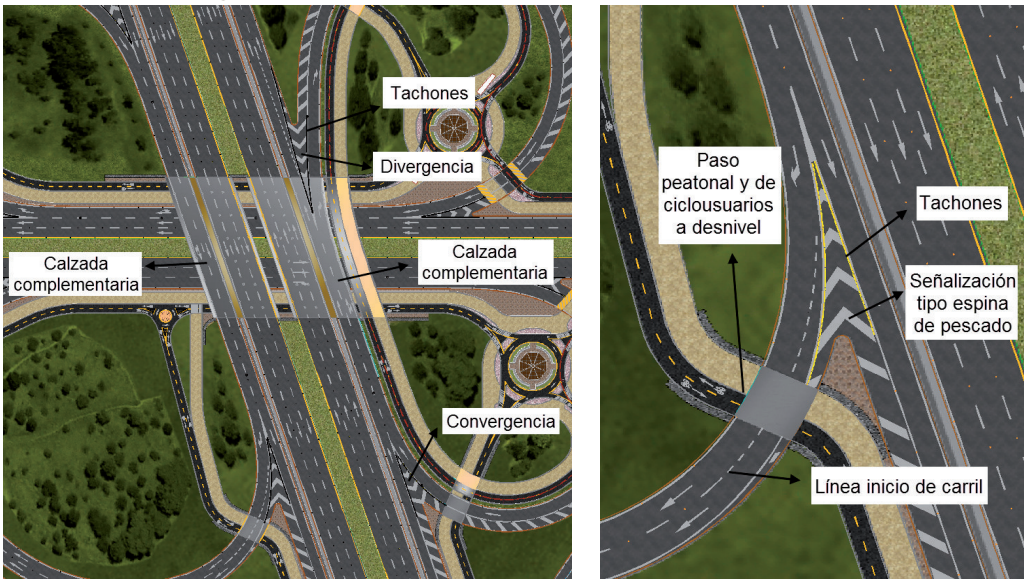
Es importante anotar, que las intersecciones tipo trébol deben ir acompañadas por calzadas complementarias, las cuales deben ser paralelas a las principales, apareciendo y desapareciendo en la zona de influencia directa de las intersecciones (antes de iniciar y terminar los giros derechos) y que permiten recolectar, conectar y distribuir los flujos hacia a las orejas y enlaces derechos, eliminando el entrecruzamiento que se presenta comúnmente y separando las corrientes de giro de las de paso directo.

En la calzada inferior del trébol mostrado en la Figura 94 se puede observar un diseño que presenta entrecruzamientos derivados de la geometría que adiciona un carril bajo el puente para unir la convergencia y la divergencia de las orejas. Este entrecruzamiento hace que se generen turbulencias que aumentan la exposición y la peligrosidad frente a accidentes de tránsito; además de incitar el uso indebido de este carril como zona de parada para el transporte público, lo que incrementa los problemas de operación de la intersección. En general los carriles adicionados para permitir el entrecruzamiento deben evitarse y reemplazarse por calzadas complementarias (no adosadas a la estructura existente sino con geometría y estructura independiente), aisladas por un separador de ancho seguro, que permita el intercambio de calzada fuera de la zona de influencia directa de la intersección (Véase Capítulo 3, numeral 3.2.3 Separadores). Para los casos en los que no sea factible la construcción de dicha calzada, debe tenerse presente que cuando la longitud de entrecruzamiento supera la máxima el efecto producido es un aumento en la sección transversal, habilitado para todos los vehículos, incluso para los de paso directo, pero que después se reduce súbitamente, generando maniobras peligrosas en la cercanía de las orejas.

Adicionalmente, cabe diferenciar los conceptos de calzada complementaria y calzada de servicio. La segunda es la que hace parte de la sección transversal de acuerdo con la jerarquía de la vía y la normatividad vigente y debería ser continua de principio a fin en el corredor. Por su parte, la calzada complementaria es susceptible de habilitarse solo en las zonas de intersección independientemente del perfil vial; además, estará justificada según el diagnóstico de tránsito, transporte y seguridad vial.

En resumen, en términos del diseño geométrico, se recomienda adicionar una calzada complementaria que recoja los flujos que divergen y convergen, de modo que se elimine el entrecruzamiento de las orejas y lo convierta en un trenzado simple, sin conflicto con las corrientes directas.

Figura 97. Calzadas complementarias en Tréboles

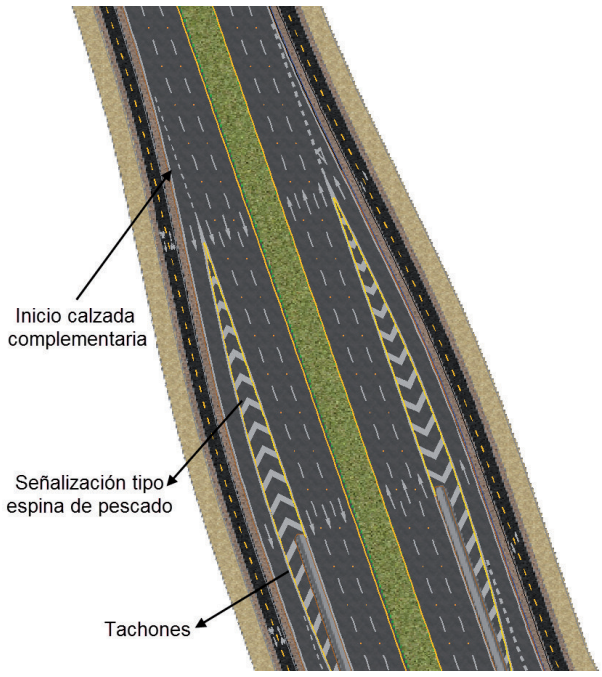


A la derecha: detalle de la salida de la oreja inferior izquierda.

Fuente: Elaboración propia (idea original Disvial Ingeniería de proyectos S.A.S)

Adicionalmente para separar convenientemente los flujos de giro derecho, de aquellos que utilizan las orejas, se recomienda una demarcación completa, que incluya elementos canalizadores, como se muestra en la Figura 97. Así mismo, para el inicio y la terminación de las calzadas complementarias deben emplearse geometría, señalización y demarcación acorde con todos los principios descritos en el numeral 4. Bifurcaciones y que se ejemplifican en la Figura 98.

Figura 98. Inicio y finalización de las calzadas complementarias



Fuente: Elaboración propia

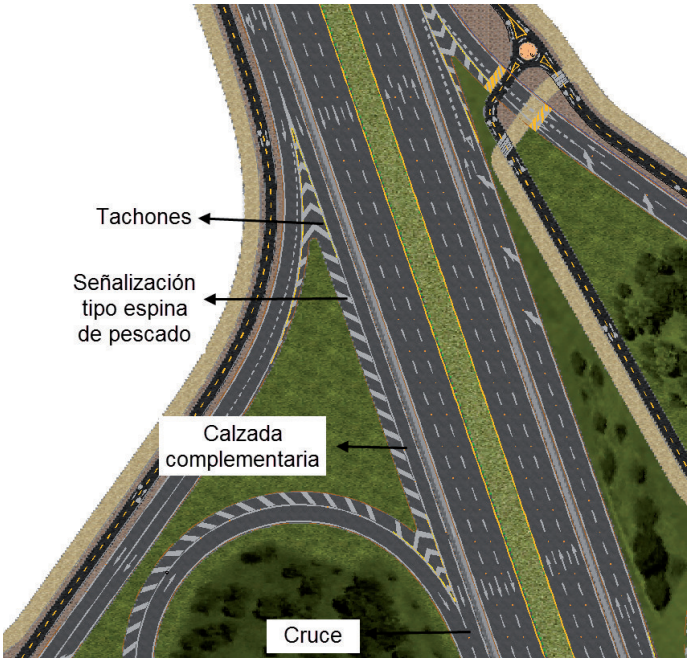
En cuanto a la ubicación de paraderos es importante anotar que se deben tener en cuenta estudios de transporte, tránsito y urbanísticos que indiquen el lugar apropiado para su ubicación.

7.1.3 Giros derechos canalizados

La configuración de los giros derechos canalizados está estrechamente vinculada con la geometría de las orejas; como indica la Figura 92 se pueden diseñar con tramos rectos y curvas en el inicio y en el final o con curvas sucesivas que se adapten a la forma de la oreja. En el caso de las orejas de los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho, la geometría oblicua de la intersección permite que el giro derecho sea más corto y por lo tanto puede realizarse con un tramo recto intermedio y concatenaciones espiralizadas en la entrada y la salida, siempre con radios acordes con las velocidades específicas de los ramales a conectar. Para el caso de los cuadrantes superior derecho e inferior izquierdo, se tiene una longitud de giro mayor y por lo tanto es preferible habilitar una geometría como la de la oreja inferior, para mantener constante la velocidad y evitar aceleración en el tramo recto; en este caso las concatenaciones dependen de los ángulos de deflexión, pero suelen implementarse tipologías ECE-ECE-ECE o ECE-EE-ECE O EE-EE-EE.

Sobre la calzada complementaria, en la zona en donde el giro derecho diverge es conveniente una señalización y una demarcación clara y visible para que la canalización se realice de forma segura. Véase Figura 99.

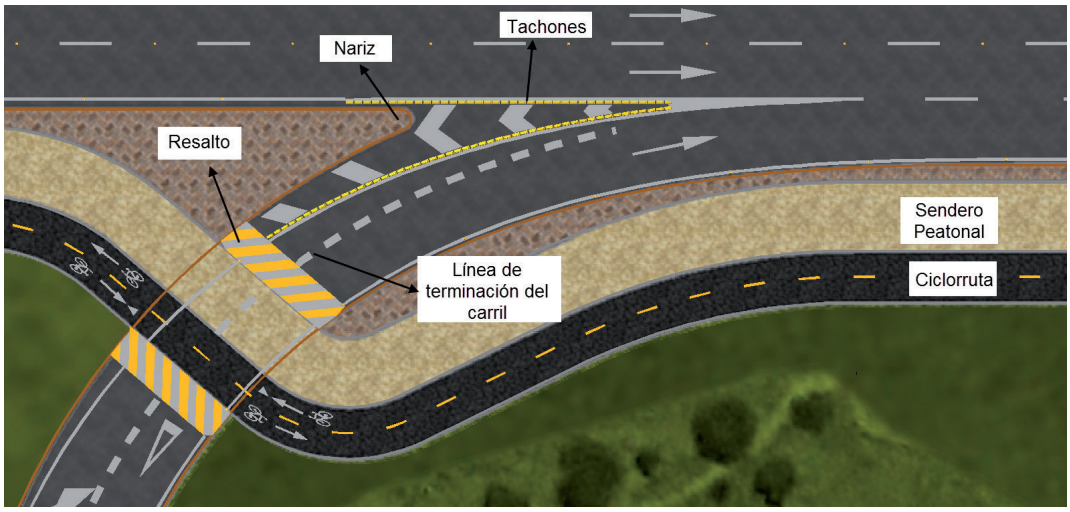
Figura 99. Canalización del giro derecho y el giro izquierdo en la calzada complementaria



Fuente: Elaboración propia

En las zonas de convergencia y divergencia de los giros derechos, en donde se habilite cruce peatonal o de ciclousuarios a nivel, se recomienda, para flujos peatonales bajos, implementar resaltos virtuales y cambios de textura, para volúmenes medios, generar semipompeyanos con cambio de textura, que anuncien la prioridad de estos actores y para volúmenes altos, analizarse la necesidad de cruces a desnivel respetando el concepto de tratamiento peatonal y de ciclousuarios descrito en el numeral 7.3. Complementariamente, se deben utilizar geometrías para el cruce que sean en lo posible perpendiculares, de manera que se garantice completa visibilidad. Véase Figura 100.

Figura 100. Manejo de flujos no motorizados a nivel, en los giros derechos canalizados



Fuente: Elaboración propia

7.2 CONSIDERACIONES ALTIMÉTRICAS Y DE VISIBILIDAD

En intersecciones con orejas se utilizan tasas máximas de peralte del 4% y el 6%, aunque puede llegar hasta 8%, en función de las restricciones explicadas en el Capítulo 3.

Las pendientes máximas del alineamiento vertical en los enlaces no pueden ser expresadas de la misma forma que se ha hecho para los corredores. La pendiente de los ramales y orejas dependerá de factores como:

- Si la pendiente del ramal es muy suave, se requerirá mayor longitud para empalmar con la vía del otro nivel.
- Las pendientes más empinadas deberían diseñarse en la parte central del ramal o enlace, con el objetivo de que los empalmes con las vías principales se realicen con la mayor visibilidad; sin embargo el diseñador debe procurar que la pendiente sea constante a lo largo del ramal.

- Pendientes de hasta el 7% y 8% permiten una operación segura y normal para vehículos livianos; sin embargo pendientes de este tipo (en ascenso) reducen la velocidad de camiones y de buses afectando la operación de la intersección.
- Las curvas verticales deben contar con diseños que cumplan los criterios de distancia de visibilidad y de distancia de parada. Además si en los empalmes de los ramales con la vía principal se diseñan curvas verticales, deberían satisfacer la velocidad de diseño del ramal principal.

En la Tabla 13. Se presentan los valores recomendados para la pendiente de los ramales de acuerdo a la velocidad de diseño.

Tabla 13. Pendiente máxima para ramales

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	40	50	60	80
PENDIENTE MÁXIMA (%)	8*	7*	6	5

* Para orejas que poseen un velocidad menor a 50 km/h se pueden permitir pendientes del 7% y 8% de acuerdo a lo expuesto en el Capítulo 3.

Fuente: Elaboración propia.

Existen otras recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta por el diseñador, tales como:

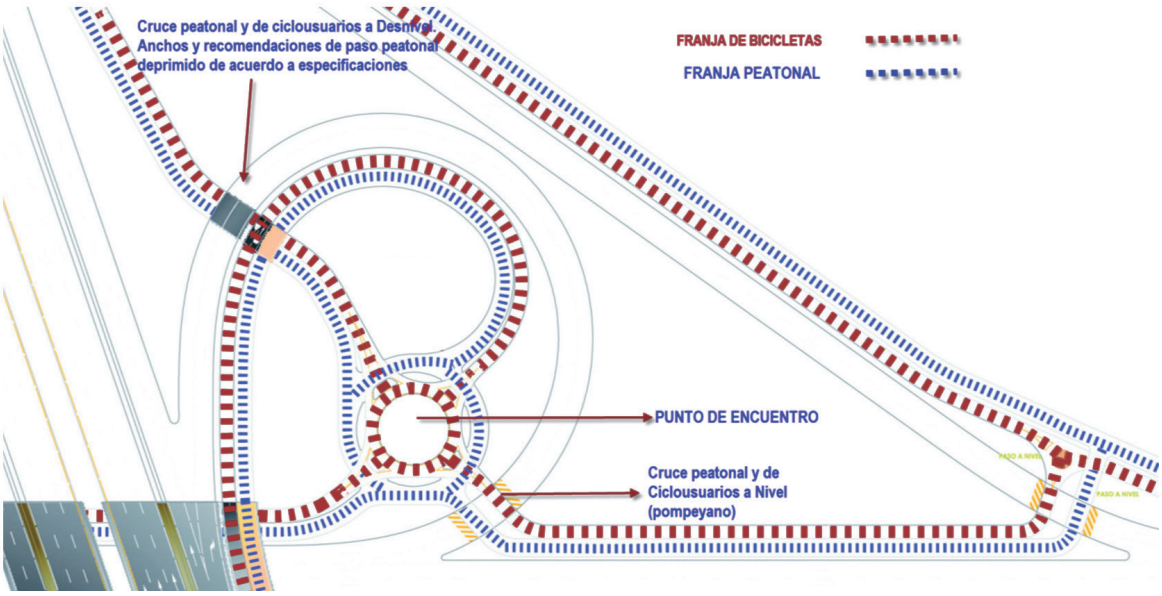
- La altura libre para estructuras de paso sobre una vía debe ser al menos 5.00 metros medidos sobre el ancho total de sección vial.
- La altura libre de las estructuras de soporte de señales tipo banderas y pasacalles y pasos peatonales, también se recomienda que sea de 5.00 metros.

7.3 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE FLUJOS NO MOTORIZADOS

Para el manejo de la movilidad peatonal en intersecciones de este tipo, se debe garantizar la continuidad de la red de circulación peatonal y de ciclousuarios, mediante cruces seguros y con diseño planimétrico y de rasantes independiente del de las calzadas vehiculares.

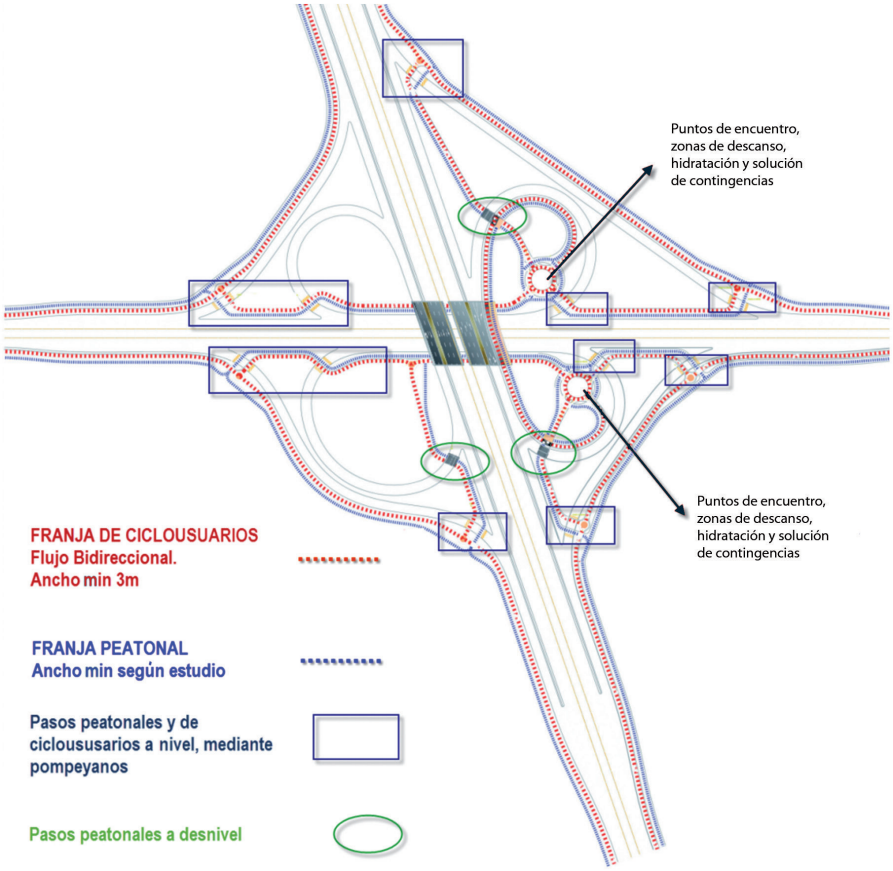
En esta guía se muestran diferentes opciones para el desarrollo de las franjas de circulación de los usuarios no motorizados, diferente a la alternativa de puentes peatonales sobre cada ramal; en las Figuras 101 y 102, se muestra una alternativa, en la cual los peatones y ciclousuarios cuentan con una red directa, continua, cómoda y segura, en donde siempre se garantiza su prelación.

Figura 101. Red de paso continúo para circulación peatonal y de ciclousuarios



Fuente: Idea Original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectura S.A.S.

Figura 102. Circulación peatonal y de ciclousuarios con red de paso continúo

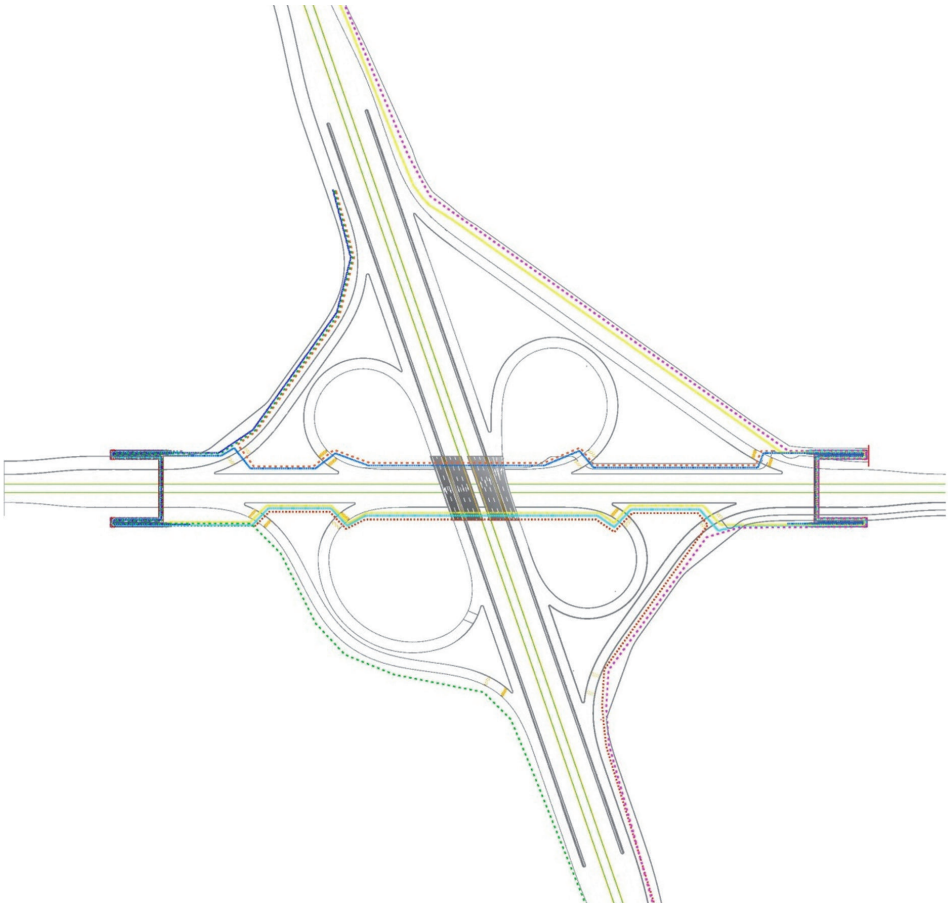


Fuente: Idea Original Disvial Ingeniería de proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectura S.A.S.

El desarrollo de la franja de circulación peatonal y la franja de ciclorruta se complementa con otros elementos del espacio público como puntos de encuentro en los cuales se encuentren zonas de hidratación, zonas de atención de contingencias, zonas de descanso e información etc. Además de los puntos de encuentro deben incluir otros elementos como el mobiliario urbano y elementos paisajísticos que hagan agradable, cómodos y seguros estos pasos.

Es importante resaltar que los pasos peatonales y de ciclousuarios con respecto a la opción presentada en la Figura 103 en la cual se presenta un manejo con puentes peatonales, minimiza los recorridos que deben hacer tanto peatones como ciclistas evitando pasos directos sobre las calzada vehicular y, por ende, accidentes. Otro aspecto que diferencia estas propuestas consiste en la comodidad y seguridad que se brinda o todos los tipos de usuarios, dado que los puentes peatonales presentan sobrerrecorridos, no permiten el paso de ciclistas montado sobre las bicicletas y presentan serios problemas de seguridad.

Figura 103. Circulación peatonal y de ciclousuarios con alternativa puente peatonal



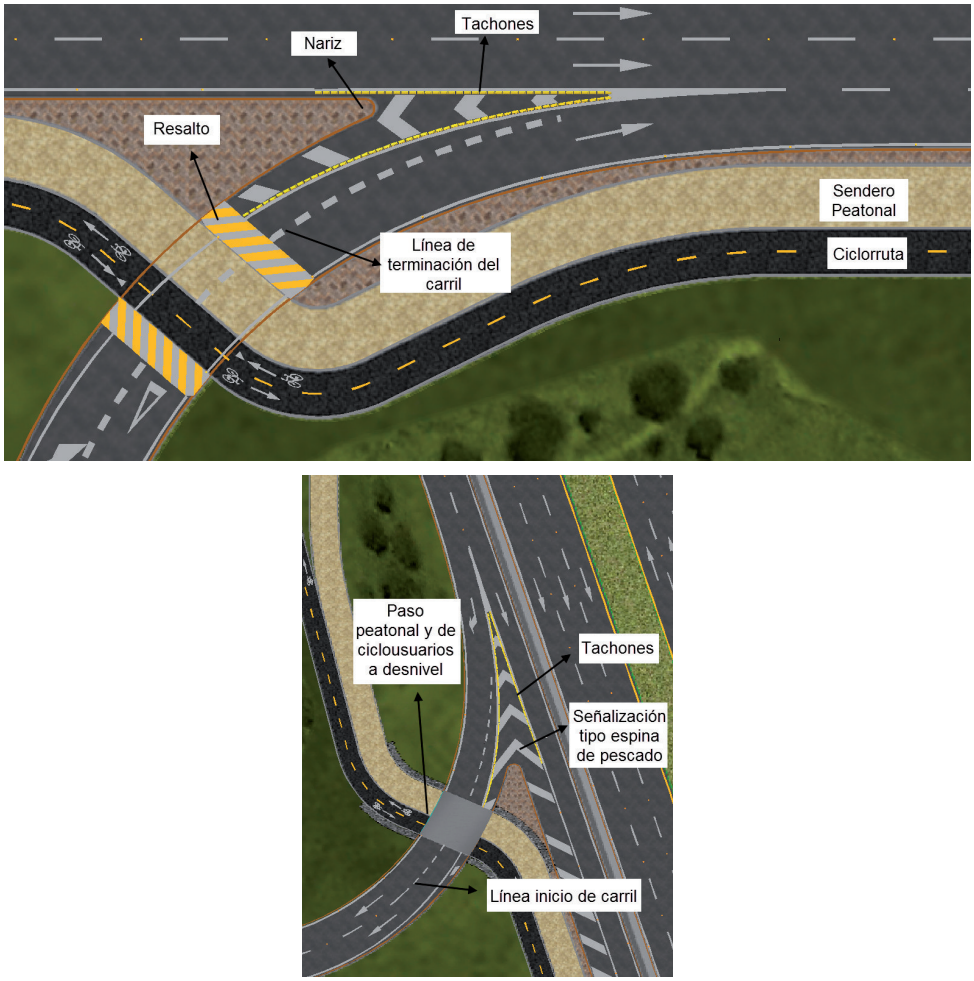
Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

En el caso de intersecciones a desnivel como la mostrada en la Figura 102 se busca realizar los recorridos de los no motorizados de la forma más corta y segura, al tiempo que se debe procu-

rar una red de circulación peatonal y de ciclousuarios continua, sin alterar el funcionamiento de los carriles vehiculares.

En los casos donde se necesite complementar la circulación, con cruces a nivel, estos deben ser identificables a distancia y estar debidamente demarcados, con el fin de ofrecer seguridad a peatones y ciclousuarios. Véase Figura 104.

Figura 104. Cruce de ciclorruta y franja de circulación peatonal a nivel (arriba) y a desnivel (abajo)



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S y Sociedad Cabal Arquitectos S.A.S.

Las características de este tipo de cruce son las siguientes:

- La franja de circulación debe ser de un ancho mínimo de 3 m.
- Los cruces siempre serán con el menor recorrido posible y la mayor seguridad.
- Cuando la red peatonal se cruza en el recorrido con la red de ciclousuarios, debe haber cambio de textura, complementado con losetas táctiles, con el fin de facilitar la movilidad de peatones con algún tipo de limitación.
- Tratamiento especial al tráfico de ciclistas.

En pasos peatonales a desnivel, se deben contemplar un gálibo vertical entre 2,5 m y 3,0 m, y su ancho mínimo debe ser de 3,0 a 4,0 m, para compensar el efecto de pared que produce. El ancho deberá revisarse en función de lo determinado por los estudios de tránsito.

7.4 CONSIDERACIONES PARA EL PAISAJISMO Y ACONDICIONAMIENTO

Si se quiere garantizar la continuidad peatonal en las intersecciones, es necesario tener claridad acerca de si la continuidad es a nivel de la circulación vehicular o a desnivel; esta premisa determina el tipo de tratamiento.

Para el caso de la solución a nivel, la velocidad de diseño se condiciona al paso de los peatones y ciclistas en los puntos establecidos. La ventaja de esta solución es el dominio visual de todos los usuarios, tanto conductores como peatones.

En el caso de la solución a desnivel, la velocidad de diseño no está condicionada al paso de los peatones y ciclistas. La ventaja de esta solución es la continuidad ininterrumpida de la circulación. El elemento desfavorable es la visibilidad, aunque se debe garantizar, con tramos cubiertos cortos, bien iluminados, además con remates en espacios generosos y abiertos; lo anterior permite al usuario percibir la sensación de seguridad y confort, a la par del funcionamiento óptimo de la solución vial.

7.5 CONSIDERACIONES PARA LA SEÑALIZACIÓN

Para todo lo relacionado con señalización, tanto horizontal como vertical, se sugiere ver las recomendaciones establecidas en el Manual de Señalización Vial vigente.

8. OTRAS INTERSECCIONES

En esta sección se tratarán de dos tipos de intersecciones novedosas que solucionan algunos de los problemas que se presentan con el diseño de las intersecciones convencionales, semaforizadas, anulares o a desnivel. Aunque en Bogotá se conoce muy poco de ellas, estas se deben tener en cuenta con el objetivo de brindar al diseñador diferentes posibilidades a la hora de proyectar una alternativa de solución.

8.1 TURBOGLORIETAS

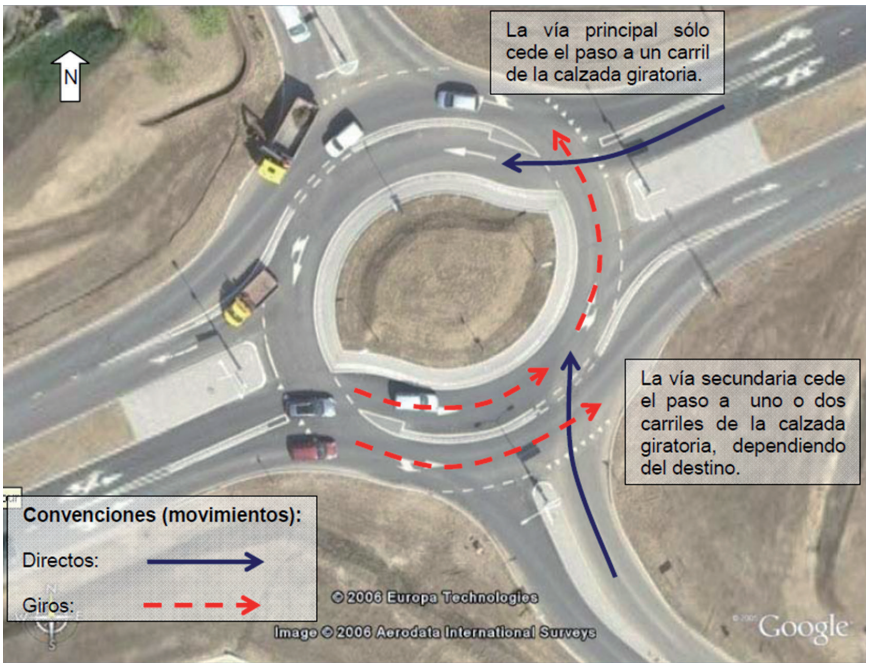
Las turboglorietas fueron concebidas en Holanda, en el año de 1996 por el profesor Lambertus G.H. Fortuijn del Departamento de Transporte y Planeación de la Facultad de Ingeniería Civil y Geociencias de la Universidad de Tecnología de Delft (Bulla, 2010).

D TURBOGLORIETAS

Glorieta multicarril con demarcaciones en espiral y carriles separados, en la que los usuarios viales deben seleccionar un carril antes de entrar a la calzada giratoria, con el propósito de salir de dicha calzada en la dirección deseada.

La geometría básica de la turboglorieta corresponde a la de una glorieta convencional, con un desfase de un carril en la calzada giratoria; lo que hace que la isla central tome forma de turbina. Este desfase permite que los vehículos provenientes del flujo principal, sólo tengan que ceder el paso a los vehículos que circulan por un (1) carril de la calzada giratoria, para el caso de la turboglorieta básica. (BULLA, 2010).

Figura 105. Turboglorieta básica en Rotterdam (Holanda)



Fuente: Tomado de (Bulla, 2010).

8.1.1 Características geométricas

De acuerdo con (Bulla, 2010), las características geométricas principales de las turbogloriettas están basadas en los siguientes condicionantes:

- Las turbogloriettas tienen más de un carril en la calzada de giro.
- El carril correcto debe seleccionarse antes de llegar a la intersección.
- Los volúmenes entrantes deben ceder el paso a los volúmenes que giran, limitando a dos, el número de carriles a los que se le cederá el paso. Esto se hace por cada acceso.
- La forma geométrica de la turboglorieta, evita los giros en contravía y los entrecruzamientos.
- Los volúmenes que vienen de la izquierda tienen prelación.

Existen algunas características únicas de las turbo glorietas que son consideradas esenciales. Esto es:

- La demarcación en espiral debe guiar, de forma fluida, el tráfico desde adentro hacia afuera, eliminando los conflictos por entrecruzamiento y previendo salidas de la calzada giratoria.
- La geometría de la glorieta debe permitir que al menos uno de los carriles se "inserte" dentro del islote central.
- En cuanto a las salidas, por lo menos dos de ellas deben poseer dos carriles.
- Las canalizaciones remontables deben generar una curvatura óptima para el vehículo de diseño, de modo que permita al vehículo mantenerse dentro de su carril de la forma más cómoda y segura posible con diámetros menores a los usados en glorietas convencionales.
- Al menos dos de los accesos de entrada (o un acceso en intersecciones de tres (3) ramales) ceden el paso.
- Los bordes externos en los ingresos y salidas siempre se deben espiralizar con el objetivo de aumentar la comodidad y la seguridad.

Estas características geométricas presentan ventajas en seguridad y comodidad, entre las que se encuentran.

- Mínimo riesgo de accidente durante las maniobras de cambio de calzada.
- Las velocidades desarrolladas en la turboglorieta son menores a las desarrolladas en glorietas convencionales debido a la separación física o virtual de los carriles, razón por la cual las turboglorietas pueden ser utilizadas para tráfico calmado.
- En comparación con las glorietas convencionales, existe una reducción sustancial del número de conflictos, dada la eliminación de los entrecruzamientos.

Tipos de Turboglorieta

De acuerdo con la investigación realizada en el documento de tesis (Bulla, 2010), el cual se basa en las investigaciones adelantadas por el profesor Lambertus G.H. Fortuijn, existen los siguientes tipos de turboglorietas.

Tabla 14. Tipos de turboglorietas

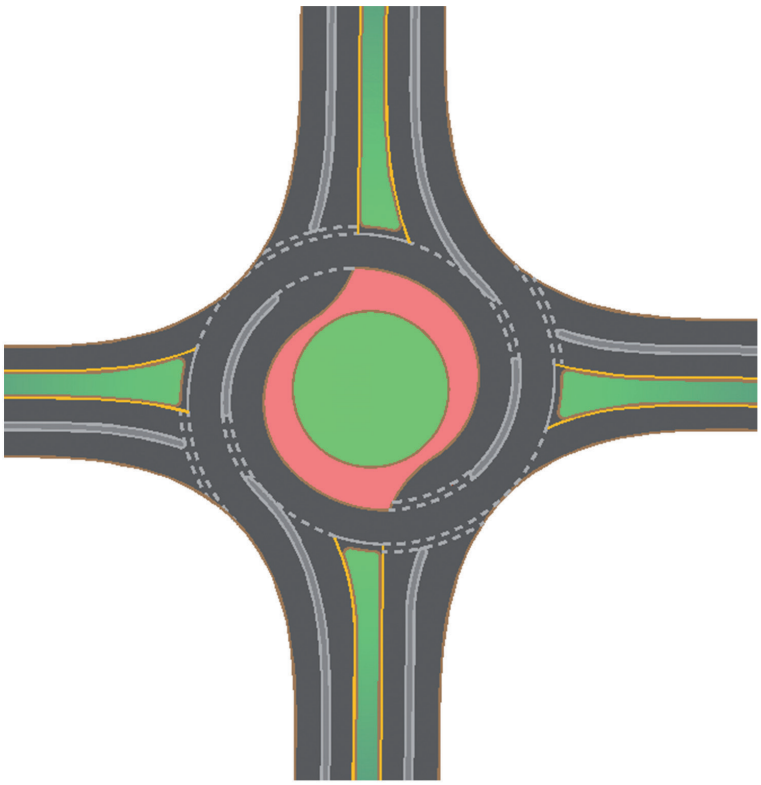
TIPO	NO RAMALES	CAPACIDAD (PCU/H)
Knee-Rótula	4	3500
	3	3300
Stretched Knee- Rotula Alargada	3	3800
Star- Estrella	4	Solución imposible dado que no se cumpliría el criterio de ceder el paso a máximo dos carriles paralelos de la calzada giratoria.
Egg-Ovoide	3	-
	4	2800

TIPO	NO RAMALES	CAPACIDAD (PCU/H)
Basic-Básica	3	-
	4	3500
Spiral-Espiral	3	-
	4	4000
Rotor	3	Considerado no funcional por su autor
	4	4500

Fuente: Tomado de (Bulla, 2010).

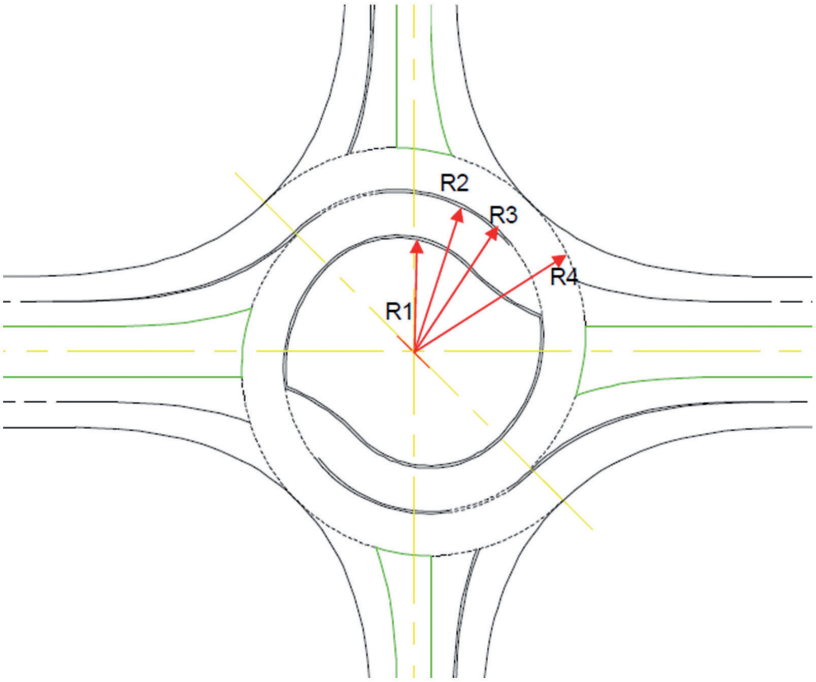
El diseño geométrico de turboglorietas, en planta, parte de las condiciones de las vías o ramales que confluyen en la intersección, tales como la posición de los ejes de diseño y el número de carriles. Dependiendo de la turboglorieta elegida, cada una tiene unas características geométricas propias. Si se desea profundizar más en estos aspectos se recomienda ver la tesis de grado mencionada en bibliografía (Bulla, 2010).

Figura 106. Diseño de turboglorieta básica



Fuente: Suministrado por Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

Figura 107. Radios y ejes usados en un diseño de una turboglorieta básica



Fuente: Tomado de (Bulla, 2010).

Figura 108. Turboglorieta en Rotterdam (Holanda)



Fuente: Imagen satelital Rotterdam Holanda. Google Earth 2013.

8.2 INTERCAMBIADORES DIVERGENTES EN DIAMANTE

D

INTERCAMBIADORES DIVERGENTES EN DIAMANTE

Los DDI por sus siglas en Ingles (DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE) son un novedoso tipo de intersección en el cual el flujo principal se eleva o se deprime, mientras que los sentidos de circulación de la vía secundaria, se cruzan hacia el lado opuesto en un tramo seleccionado con el objetivo de permitir a los conductores realizar el giro izquierdo sin necesidad de esperar turnos, sin conflicto con el tráfico y acomodando el tráfico de forma segura y eficiente. Posteriormente los flujos se descruzan para regresar a las condiciones de circulación originales.

Los DDI permiten una mejora significativa en cuanto a seguridad ya que los giros izquierdos se hacen de forma directa presentándose además una disminución en las fases semafóricas, respecto a una intersección común; adicionalmente se destaca que los DDI ocupan menos espacio en su implementación comparados con intersecciones a desnivel convencionales.

Es importante mencionar que en Colombia no se tiene referencia de una intersección tipo DDI y las investigaciones sobre ellas se limitan a experiencias de otros países, los cuales no ofrecen comportamientos ni condiciones similares a las encontradas en ámbitos urbanos locales.

Según (Chlewicki) y (Siromaskul), los DDI se basan en configuraciones tipo Diamante Convencionales diferenciándose de estos en que las corrientes de tráfico principal de la vía secundaria se cambian de costado por medio de cruces tipo inglés, para permitir los giros izquierdos, y posteriormente retornar a su costado original.

Ventajas

- Presenta dos fases (sin contar las peatonales) con longitudes de ciclo cortos reduciendo los tiempos de una intersección normal.
- Al presentarse una reducción en la curvatura horizontal para hacer los giros izquierdos, se reduce el riego de presentarse accidentes por salidas de la vía.
- Aumenta la capacidad de los movimientos de giro desde y hacia las rampas.
- Puede reducir el número de carriles en la sección transversal de la intersección, minimizando el espacio del derecho de vía.
- Disminuye notoriamente el número de puntos críticos, por lo tanto teóricamente mejora la seguridad.
- Mejora la seguridad de los peatones.
- La vía principal puede ser elevada o deprimida, aumentando la capacidad de un paso elevado o un paso inferior existente, mediante la eliminación de la necesidad de carriles de giro.
- Disminuye los costos de construcción y mantenimiento presentando una mejora en la operación en comparación de una intersección normal.

- Reducción de la velocidad con respecto a intercambiadores convencionales, siendo ideales para ámbitos urbanos pues pueden ser considerados como intersecciones pacificadoras del tránsito.

Desventajas

- Los conductores pueden no estar familiarizados con la configuración; particularmente se maneja por la izquierda.
- Es difícil la implementación de paradas de autobús dada la configuración de la misma.
- Si la señalización no está bien diseñada puede generar confusiones que conllevarían a accidentes.

En donde se implementen los DDI se recomienda que el cruce tenga un ángulo que permita observar a los vehículos que viajan en sentido contrario de modo que se aumente la visibilidad y se disminuyan los accidentes que se podrían generar. Es importante aclarar que estos cruces siempre son semaforizados y deben poseer geometrías de ingreso y salida espiralizadas, con el objetivo de garantizar condiciones de comodidad y seguridad además de una mejora en las condiciones estéticas de la vía. En los cruces de los DDI se debe garantizar el sobreancho en la curva y contracurva con el objetivo de evitar invasiones de los carriles adyacentes; es importante aclarar que este sobreancho varía en función del vehículo de diseño.

Se deben tener en cuenta diferentes consideraciones para determinar si se debe implementar o no una intersección del tipo DDI:

- Restricciones de derecho de vía.
- Problemas de control de acceso.
- Volúmenes vehiculares.
- Volúmenes peatonales y de bicicletas.
- Alineaciones existentes.
- Presencia de Intersecciones cercanas.
- Topografía.

Según las investigaciones de Siromaskul, los DDI presentan un mejor rendimiento en cuanto a su alta capacidad; además, los índices de accidentalidad disminuyen con respecto otros tipos de intercambiadores, al tiempo que su potencial permite altos volúmenes peatonales que otros intercambiadores no poseen debido a que todos los movimientos en un DDI pueden ser canalizados y señalizados para permitir a los peatones realizar todos los movimientos, protegidos por una señal que le garantice el paso.

Comparando una intersección tipo diamante convencional y una intersección tipo DDI se tiene una reducción de más del 60% de los puntos de conflictos. En la Tabla 17 se muestra la comparación entre estos dos tipos de intersecciones.

Tabla 15. Comparación de conflictos entre una intersección tipo diamante convencional y un DDI

PUNTOS DE CONFLICTOS		
Tipo	Diamante Estándar	DDI
Divergencia	8	6
Convergencia	8	6
Cruces	10	2
Total	26	14

Fuente: Elaboración propia con base en (Siromaskul S).

Señalización y semaforización

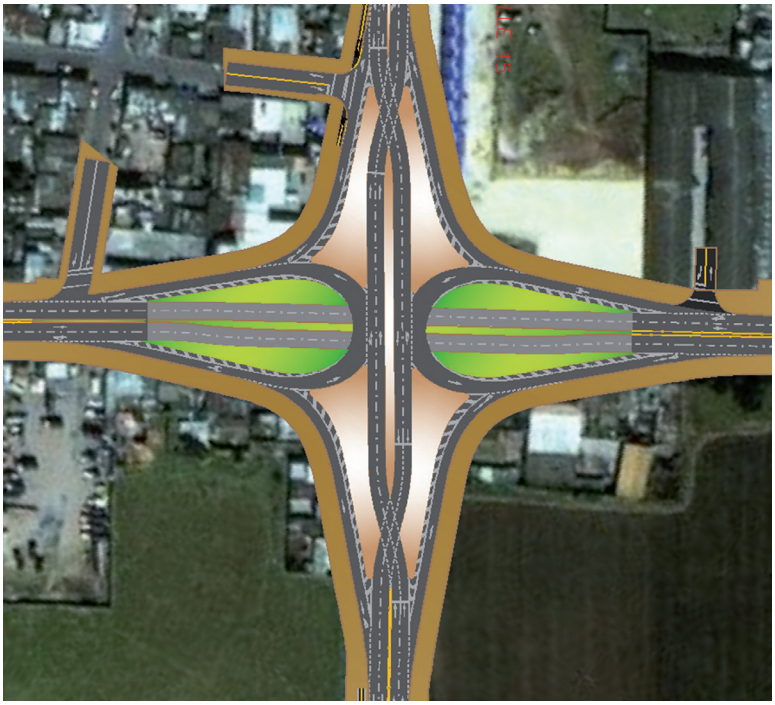
La sincronización de las señales semafóricas que se encuentran dentro del DDI es una de los factores más importantes para garantizar una buena operación y niveles de servicio óptimos dentro de la intersección. Es indispensable realizar un análisis detallado de las colas que se presentan con el objetivo de evitar bloqueos en los cruces; sumado a esto se debe prestar atención a los movimientos que se presentan en la intersección con el objetivo de definir las prioridades y un posible tratamiento semafórico. Como se mencionó anteriormente, los DDI disminuyen las fases y necesitan tiempos de ciclo más cortos, disminuyen el tiempo de operación; si bien los beneficios operacionales varían de un lugar a otro en función del volumen de tráfico, en general un DDI aumenta la capacidad de un intercambio del 15 al 25%, mientras que posee una reducción de los tiempos de viaje de hasta en un 60% (Siromaskul).

Carriles auxiliares

La necesidad de carriles auxiliares depende de muchos factores dentro de los que se encuentra el volumen de tráfico en determinados movimientos, la operación del intercambio de costado y la operación de los accesos. Con volúmenes vehiculares bajos, los carriles adicionados no se requieren en una DDI, pero en caso de que se llegaran a necesitar, la inclusión de carriles auxiliares debe basarse en las operaciones del tráfico, los requisitos geométricos de diseño específicos para la distribución del tráfico y el entorno urbano. Es importante recalcar que la inclusión de carriles auxiliares dentro de la DDI puede conducir a problemas de entrecruzamientos entre los dos terminales de las rampas.

En la Figura 109 se observa una intersección tipo DDI en donde la calzada principal se deprime para permitir los giros izquierdos mediante una intersección con cruce inglés a nivel, complementada con retornos también a desnivel.

Figura 109. Propuesta implementación DDI



Fuente: Idea original Disvial Ingeniería de Proyectos S.A.S.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO, American Association of State and Transportation Officials. (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington E.U: AASHTO.

AASHTO, American Association of State and Transportation Officials. (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington E.U: AASHTO.

Bulla, L. A. (2010). Metodología para la evaluación técnica y operativa de turboglorietas como alternativa de intersección vial en el ámbito urbano. BOGOTÁ.

Cal & Mayor; Cardenas, James. (2007). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. México: Alfaomega.

Carciente, J. (1980). Carreteras Estudio y Proyecto. Caracas, Venezuela: Ediciones Vega.

Chlewicki, G. (s.f.). Variations of the Diverging Diamond Interchange.

Comunidad de Madrid. (1993). Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras suburbanas. España: Comunidad de Madrid.

Comunidad de Madrid. (1994). Análisis del Funcionamiento de Intersecciones Giratorias. Madrid: Comunidad de Madrid.

Comunidad de Madrid; Consejería de Transportes; Dirección General de Carreteras. (1994). Recomendaciones para el Diseño de Glorietas en Carreteras Suburbanas. Madrid: Comunidad de Madrid.

Corporación Fondo de Prevención Vial; Ministerio de Transporte. (2004). Manual de Señalización Vial. Bogotá, Colombia.

Corporación Fondo de Prevención Vial; Ministerio de Transporte. (2012). Documento de Revisión del Manual de Señalización Vial. Bogotá, Colombia.

FHWA, Federal Highway Administration. (2004). Signalized Intersectional: Informational Guide.

INVIAS, Instituto Nacional de Vías. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá, Colombia.

MASSHIGHWAY, Massachusetts Higway Department. (2006). Project Development & Design Guide, Cap 3-5-6-7-15-16. Massachusetts: MASSHIGHWAY.

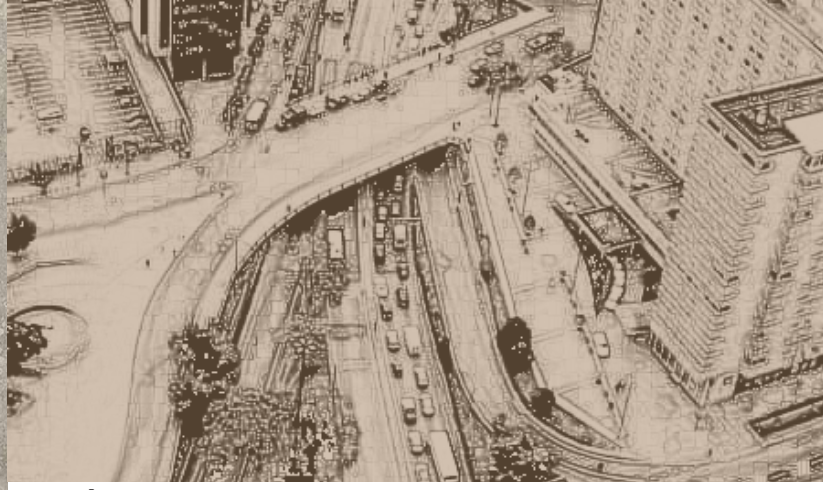
MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2009). Manual de Vialidad Urbana, Recomendaciones Para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana. Santiago, Chile: MINVU.

MOPT, Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (1992). Carreteras Urbanas, Recomendaciones para su Planeamiento y Proyecto. Madrid, España: MOPT.

Siromaskul, S. (s.f.). Diverging Diamond Interchange Design 101: Things to Know Before You Start.

TRB, Transportation Research Board. (2010). HCM, Highway Capacity Manual. Washington DC: Transportation Research Board.

TTA, Texas Transportation Institute. (2003). Review And Evaluation Of Interchange Ramp Design Consideration For Facilities Without Frontage Roads. Texas, E.U: TTA.



CAPÍTULO 5

CONTENIDO Y ESPECIFICACIONES DE LOS ENTREGABLES DEL DISEÑO

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 5: CONTENIDO Y ESPECIFICACIONES DE LOS ENTREGABLES DEL DISEÑO **389**

1 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DISEÑO CONCEPTUAL **392**

1.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE 392

1.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL 394

1.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO 396

2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD - PREDISEÑO **398**

2.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE 398

2.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL 399

2.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO 401

3 ESTUDIO DE DISEÑO DEFINITIVO **402**

3.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE 402

3.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL 403

3.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO 404

4 PRESENTACIÓN DE PLANOS DE DISEÑO **405**

4.1 SEÑALIZACIÓN 405

4.2 PLANTA-PERFIL 406

4.2.1 Presentación de la planta 406

4.2.2 Presentación del perfil 407

4.3 PERALTES 407

4.4 COTAS Y COORDENADAS DE PAVIMENTO 408

4.5 SECCIONES TRANSVERSALES 410

GLOSARIO **412**

SIGLAS **425**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Campos mínimos del cuadro de elementos de curva	406
Figura 2.	Ejemplo de presentación de planos planta perfil para corredores	407
Figura 3.	Ejemplo de presentación de peraltes	408
Figura 4.	Ejemplo de presentación de cotas de pavimento	409
Figura 5.	Ejemplo de presentación de coordenadas de pavimento	409
Figura 6.	Ejemplo de presentación de secciones transversales	411

El presente capítulo contiene un resumen de los insumos y entregables, que a lo largo de las etapas del proyecto, incluyen las tres áreas en las que profundiza esta Guía: Tránsito, Diseño y Seguridad Vial.

1. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD – DISEÑO CONCEPTUAL

1.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Lo que a continuación se presenta está basado en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte para Bogotá D.C. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Tránsito y Transporte; Cal y Mayor Asociados, 2005). También se incluyen algunas recomendaciones adicionales, propias de ésta.

Insumos:

- Cartografía.
- POT, Plan de Desarrollo, Planes Parciales y Planes Maestros.
- Estudios previos y datos de tránsito existentes.
- Esquemas conceptuales de las alternativas propuestas suministrados por el diseñador geométrico.
- Ficha de diagnóstico suministrada por las demás áreas.
- Informes de diagnóstico y recomendaciones de las demás áreas.
- Información secundaria de variable socio-económicas.

Objetivo 1: Formulación del diagnóstico
Actividades:

- Análisis de información secundaria disponible.
- Investigación de proyectos en el área de Influencia.
- Caracterización del tránsito.
- Caracterización del transporte público.
- Definición de actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente.
- Descripción de la cartografía y sistema vial existente.
- Levantamiento de los dispositivos de control del tránsito existente.
- Estimación de las variables socioeconómicas requeridas para proyecciones y análisis según la escala del proyecto.
- Obtención de datos primarios: estudios de campo. Los datos que se recolecten deben permitir evaluar las alternativas en red, principalmente cuando se trate de proyectos de construcción y complementación. Para proyectos de mejoramiento, dependerá de la escala de intervención. No obstante, en cualquier caso deben tenerse datos actualizados (con vigencia menor o igual a 1 año) vehiculares, peatonales y de bicicletas, en la hora de máxima deman-

da, como mínimo. Se considerarán inaceptables las evaluaciones solo a nivel motorizado, pues como se menciona a lo largo esta Guía, los tratamientos para modos no motorizados condicionan radicalmente las soluciones, planimétrica y altimétricamente y por lo tanto una evaluación multicriterio que ignore este actor no representa la realidad del proyecto. Para el caso de intersecciones, cuándo el proyecto incluya dentro de su zona de influencia directa otras intersecciones de la red vial arterial principal, complementaria o intermedia, deberá contarse con datos de todos los nodos neurálgicos y realizarse modelaciones que trasciendan de la evaluación puntual hacia la modelación de la red completa.

- Análisis y procesamiento de información: caracterización del tránsito, presentando tablas y gráficas que expliquen de forma clara el comportamiento diario y de la hora de evaluación del proyecto.
- Cálculo de los parámetros de tránsito requeridos para la evaluación de modelos y análisis necesarios según el alcance del estudio.
- Modelación de tránsito vehicular, peatonal y de ciclistas y modelación de transporte de la situación actual: es recomendable el uso de modelos de simulación microscópica a nivel de red, cuando el proyecto sobrepase la escala zonal.

Entregables:

- Informe de diagnóstico de tránsito y transporte de la situación actual, que revele las condiciones de la problemática actualizada, mediante indicadores de operación en red como tiempos de viaje, velocidades, colas y demoras, e indicadores puntuales como niveles de servicio, vehiculares y peatonales.
- Ficha de diagnóstico diligenciada (Capítulo 2).
- Inventario de los dispositivos de regulación y control de tránsito existentes y plano de georeferenciación a escala 1:500.
- Recomendaciones sugeridas a nivel de planteamiento conceptual.

Objetivo 2: Evaluación de alternativas

Actividades:

- Definición de los escenarios de evaluación: año base, periodo de construcción (con o sin etapas), año de implementación, horizonte máximo de implementación del proyecto.
- Estimación de demanda generada y desarrollada.
- Proyecciones de tránsito.
- Modelación de escenarios futuros en las diferentes alternativas.
- Evaluación de alternativas. Cálculo de indicadores de operación.
- Planteamiento de recomendaciones conceptuales para las alternativas evaluadas.

Entregables:

- Informe de evaluación de alternativas con los respectivos indicadores por escenario, comparados con los indicadores del año base.
- Archivos magnéticos de los modelos de microsimulación.

- Evaluación de criterios de tránsito con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.
- Recomendaciones sugeridas a nivel de planteamiento conceptual.

1.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL

Insumos:

- Cartografía.
- Topografía: a nivel de prefactibilidad es aceptable trabajar con imágenes satelitales (Google Earth) u ortofotos de segundo orden, es decir aquellas realizadas a partir de un modelo digital del terreno y cuya precisión es similar a la de la cartografía fotogramétrica digital (LERMA GARCÍA, 2002).
- POT, Plan de Desarrollo, Planes Parciales y Planes Maestros.
- Volúmenes mixtos direccionales y composición vehicular en la hora de máxima demanda.
- Audirorías de Seguridad Vial e Inspecciones de Seguridad Vial, si se trata de un proyecto existente.
- Ficha de diagnóstico suministrada por las demás áreas.
- Informes de diagnóstico y recomendaciones de las demás áreas.

Objetivo 1: Formulación del diagnóstico

Actividades:

- Investigación de proyectos en el área de Influencia.
- Identificación de las restricciones de espacio, topográficas y constructivas para proponer soluciones eficientes que no vayan en contravía de la estructura urbana y los requerimientos del proyecto.
- Diagnóstico de hallazgos de seguridad vial mediante la identificación de amenazas probables durante visita de campo, para el caso de proyectos de complementación y mejoramiento.
- Identificar y georreferenciar las zonas de parada del transporte público colectivo y masivo, con sus respectivos anchos y longitudes.
- Identificar y localizar las zonas de paso peatonal, ciclistas e integración modal.
- Determinación de criterios básicos de partida: Vehículo(s) de diseño, velocidad(es) de diseño, secciones transversales (Capítulos 2 y 3).
- Definición del corredor o corredores de diseño siguiendo las recomendaciones prácticas para el diseño en planta señaladas en el Capítulo 3.
- Localizar las intersecciones del proyecto presentes en el área de influencia directa del proyecto y realizar el análisis de líneas de flujo o corrientes vehiculares, de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 4.
- Localización y análisis de los conflictos vehículo-vehículo, vehículo-peatón, vehículo-ciclista, ciclista peatón existentes.

- Definición de los flujos a resolver, las corrientes principales y los tipos de canalizaciones en función del diagnóstico integral.

Entregables:

- Informe de diagnóstico de la situación actual, incluyendo hallazgos de seguridad vial.
- Ficha de diagnóstico diligenciada (Capítulo 2).

Objetivo 2: Planteamiento de alternativas a nivel conceptual
Actividades:

- Planteamiento de alternativas según los criterios básicos de diseño seleccionados. Las alternativas a evaluar deberán estar soportadas por la verificación de trayectorias y ocupación de los vehículos en accesos, rampas, convergencias y divergencias.
- Determinación de las alternativas con la geometría necesaria para cumplir con una óptima operación, tratando de mantener en lo posible, los conceptos y recomendaciones suministradas por las demás áreas en la ficha de diagnóstico.
- Diseño de los alineamientos horizontales para los ejes de las calzadas proyectadas, con base en los requerimientos normativos y de criterios establecidos (Capítulos 3 y 4).
- Procesamiento y cálculo de elementos de curvas proyectadas.

Entregables:

- Informe con las premisas para el planteamiento conceptual de alternativas y la descripción geométrica y operacional de las mismas, incluyendo peatones, ciclistas, vehículos particulares y transporte público.
- Planos en planta de las alternativas a escala 1:500. Cabe recordar que deben ser planos autoexplicativos para disminuir la incertidumbre en el proceso de selección (Véase Capítulo 2). Deben incluir demarcación horizontal de las vías.

Objetivo 3: Evaluación de alternativas
Actividades:

- Cálculo de los indicadores requeridos para la EMC (Capítulo 2).
- Evaluación de alternativas.

Entregables:

- Informe de evaluación de alternativas con los respectivos indicadores por alternativa.
- Evaluación de criterios de geometría y seguridad vial con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.

1.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO

Insumos:

- Cartografía.
- Topografía: a nivel de prefactibilidad es aceptable trabajar con imágenes satelitales (Google Earth) u ortofotos de segundo orden, es decir aquellas realizadas a partir de un modelo digital del terreno y cuya precisión es similar a la de la cartografía fotogramétrica digital (LERMA GARCÍA, 2002).
- POT, Plan de Desarrollo, Planes Parciales y Planes Maestros.
- Ficha de diagnóstico suministrada por las demás áreas.
- Informes de diagnóstico y recomendaciones de las demás áreas.
- Esquemas conceptuales de las alternativas propuestas suministrados por el diseñador geométrico.

Objetivo 1: Formulación del diagnóstico

Actividades:

- Diagnóstico urbano y paisajístico con información secundaria: planimetría y altimetría de las condiciones naturales y artificiales que presenta el área objeto de la intervención, características naturales adicionales tales como fuentes, cuerpos o cursos de agua, relieve del terreno relacionado en curvas de nivel; referencia clara al norte geográfico y al sistema de coordenadas, vías y accesibilidad, vegetación existente en el área, edificaciones vecinas con su debida relación de alturas; redes aéreas o tendidos de infraestructura a nivel o subterráneas, si las hay, y demás elementos o circunstancias físicas que puedan ser relevantes para el caso y afectar el diseño arquitectónico.
- Cuadro de áreas con sus correspondientes comentarios, notas claves, advertencias o referencias adicionales, según se estimen pertinentes para el cometido posterior de los diseños.
- Memoria e historia del lugar, y demás análisis que para los efectos del desarrollo de los diseños, el arquitecto estime conveniente acopiar y consignar documentalmente.
- Investigación de proyectos en el área de Influencia.
- Identificación de las restricciones de espacio, topográficas y constructivas para proponer soluciones eficientes que no vayan en contravía de la estructura urbana y los requerimientos del proyecto.
- Levantamiento de información predial, catastral y urbanística: documentos legales y de normativa del predio, planos urbanísticos y catastrales de la zona del diseño.
- Consideración y análisis de las determinantes establecidas por el POT para las zonas tales como: piezas urbanas, áreas funcionales, sistemas generales, operaciones, áreas de actividad y tratamientos.
- Inventario de predios, donde se registre: el uso, la nomenclatura, número de pisos y tipo de afectación.

Entregables:

- Registro fotográfico del lugar antes de la intervención. La secuencia del recorrido fotográfico debe registrarse en un plano a escala 1:1000; se incluyen las fotografías dentro del plano.
- Plano de localización a escala indicada, se sugiere entre 1:2000 y 1:1000 según se requiera.
- Memoria de diagnóstico urbano y paisajístico.

Objetivo 2: Complementación de alternativas a nivel conceptual
Actividades:

- Determinación de las premisas de diseño con las alternativas, necesarias para cumplir con una óptima operación, tratando de mantener en lo posible, los conceptos y recomendaciones suministradas por las demás áreas en la ficha de diagnóstico.
- Entrega de plantas a nivel conceptual de la propuesta urbano-paisajística y del espacio público a escala 1:500 para vías vehiculares, vías peatonales, separadores, antejardines, ciclorrutas, plazoletas, zonas verdes, zonas blandas o semiduras estructuras, etc., y demás elementos ambientales y urbanos necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto vial, dentro de los límites del contrato, para cada alternativa.
- Inventario de predios afectados para cada alternativa: el uso, la nomenclatura, número de pisos y tipo de afectación.

Entregables:

- Entrega de plantas del diseño urbano-paisajístico y del espacio público a escala 1:500.
- La afectación predial debe ser espacializada en un plano escala 1:1000, donde se resalte con un achurado de la afectación y el resto de la trama urbana. Se incluirá un cuadro con el área del proyecto, el área afectada y el área restante.
- Plano de zonas verdes existentes y propuestas, con sus porcentajes registrados en un cuadro anexo. Si las zonas verdes son jurisdicción de la defensoría del espacio público, debe adjuntarse su concepto.

Objetivo 3: Evaluación de alternativas
Actividades:

- Cálculo de los indicadores requeridos para la EMC (Capítulo 2).
- Evaluación de alternativas.

Entregables:

- Informe de evaluación de alternativas con los respectivos indicadores por alternativa.
- Evaluación de criterios de diseño urbano, predial, paisajismo y espacio público, con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.

2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD - PREDISEÑO

2.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Insumos:
Resultados de la evaluación de alternativas y/o alternativa definitiva.

Objetivo 1: Complementación y selección final de alternativas
Actividades:

- En los casos en los que la evaluación multicriterio en fase de prefactibilidad arroje resultados muy similares y las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, deberán analizarse las dos alternativas mejor calificadas, profundizando y precisando en los diseños y/o análisis de aquellos criterios que generan mayor incertidumbre, o que evidencian falta de precisión en algún tema específico que condicione las decisiones sobre el proyecto.
- Si entre los criterios de tránsito se halla la incertidumbre, el análisis de tránsito es más intensivo e involucra un alcance dual que contempla tanto una evaluación en red como a nivel puntual, las cuales se desarrollan en paralelo manteniendo una comunicación dinámica entre sí. En este sentido, entran a evaluarse específicamente indicadores de operación en las convergencias, divergencias y entrecruzamientos. Si se requiere puede realizarse una primera aproximación a temas puntuales de estacionamientos, zonas de ascenso y descenso de pasajeros y dispositivos de control del tránsito, entre otras.

Entregables:

- Memorias de tránsito complementarias.
- Evaluación de criterios, con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.

Objetivo 1: Prediseño de tránsito
Actividades:

Para la alternativa seleccionada se debe
- Modelación final de la alternativa seleccionada.
- Análisis de indicadores y propuestas conceptuales finales para el tratamiento de flujos no motorizados.
- Análisis y prediseño de zonas de estacionamiento si aplica.
- Análisis y prediseño de zonas de cargue y descargue si aplica.
- Prediseño de dispositivos de control del tránsito y revisión de la propuesta con el diseñador geométrico.

- Formulación de medidas de gestión en el área de influencia.
- Conclusiones y recomendaciones del prediseño.

Entregables:

- Archivos magnéticos de la modelación final.
- Memoria de análisis complementarios.
- Plano escala 1:500 de la señalización vertical propuesta.
- Planos escala 1:1000 de las medidas de gestión propuestas.

2.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL

Insumos:

- Si se requiere complementación altimétrica puede sugerirse la utilización de ortofotos de primer orden, también conocidas como ortofotos verdaderas O.V., las cuales se obtienen con base en un modelo digital de la superficie verdadera del terreno más el modelo digital de edificios, mediante tecnologías como las de escaneado laser, con el fin de aumentar la precisión. También podrán utilizarse para la estimación preliminar de las rasantes, Modelos Digitales del Terreno (MDT) creados a partir de fuentes de geodatos (p.e. Google Earth).
- Resultados de la evaluación de alternativas y/o alternativa definitiva.
- Resultados de los análisis complementarios de las demás áreas.

Objetivo 1: Complementación y selección final de alternativas
Actividades:

- En los casos en los que la evaluación multicriterio en fase de prefactibilidad arroje resultados muy similares y las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, deberán analizarse las dos alternativas mejor calificadas, profundizando y precisando en los diseños y/o análisis de aquellos criterios que generan mayor incertidumbre.
- Si entre los criterios de diseño se halla la incertidumbre, se deben realizar, de ser posible, variantes a las alternativas en cuestión, para el mejoramiento de los índices de evaluación. Deberán presentarse prediseños con plantas ajustadas a los requerimientos, con geometrías mejoradas e incorporación de concatenaciones espiralizadas si se requieren. Si es perentorio, se entregaran rasantes de los ejes principales y algunas secciones transversales que permitan entender el proyecto tridimensionalmente. La demarcación se complementará y se presentará con alto nivel de detalle.

Entregables:

- Memorias de estudio geométrico complementarias.
- Planos de los esquemas en planta de las alternativas a escala 1:500.
- Planos de las rasante principales a escala horizontal 1:500, vertical 1:50.
- Evaluación de criterios, con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de

ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.

Objetivo 2: Prediseño de la alternativa seleccionada
Actividades:

- Elaboración de prediseños con plantas ajustadas a los requerimientos, con geometrías mejoradas e incorporación de concatenaciones espiralizadas si se requieren. El proyecto debe comprenderse tridimensionalmente.
- Diseño de los alineamientos horizontales para los ejes de las calzadas proyectadas, basados en los requerimientos normativos y de criterios establecidos (Capítulos 3 y 4).
- Procesamiento y cálculo de elementos de curvas proyectadas.
- Generación y procesamiento del dibujo de los ejes y sus cuadros de elementos de curva.
- Cálculo, procesamiento y dibujo de los diagramas de transición de peraltes de acuerdo con las velocidades de diseño seleccionadas, para cada una de las calzadas involucradas.
- Generación y procesamiento del dibujo del perfil de terreno para los ejes diseñados.
- Dibujo del alineamiento vertical para cada eje diseñado según los parámetros de diseño y puntos de control.
- Diseño de curvas verticales de acuerdo con los parámetros de diseño exigidos (Capítulo 3).
- Generación y procesamiento del dibujo de rasante.
- Integración de los diseños en planta y diseños verticales de todos los ejes involucrados en cada una de las soluciones diseñadas por medio de la modelación sistematizada en 3D del proyecto.
- Cálculo, generación y procesamiento de los planos de cotas de pavimento sobre bordes de calzada y ejes de diseño, basadas en el modelo digital del diseño vial e integrado a los planos diseño geométrico en planta.
- Generación de secciones transversales de referencia.

Entregables:

- Memorias del prediseño geométrico.
- Planos de los prediseños en planta a escala 1:500.
- Planos de los prediseños en rasante y peraltes a escala horizontal 1:500, vertical 1:50. Para corredores los planos deben incluir planta y perfil simultáneamente. Para los ejes de diseño de las intersecciones, las plantas geométricas y los perfiles pueden presentarse por separado.
- Planos de cotas de pavimento en planta a escala 1:500.
- Planos de secciones transversales de referencia (en sectores claves seleccionados) a escala 1:100.

2.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO

Insumos:

- Resultados de la evaluación de alternativas y/o alternativa definitiva.
- Resultados de los análisis complementarios de las demás áreas.

Objetivo 1: Selección final de alternativas

Actividades:

- En los casos en los que la evaluación multicriterio en fase de prefactibilidad arroje resultados muy similares y las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, deberán analizarse las dos alternativas mejor calificadas, profundizando y precisando en los diseños y/o análisis de aquellos criterios que generan mayor incertidumbre.
- Si entre los criterios de diseño se halla la incertidumbre, se deben realizar, de ser posible, variantes a las alternativas en cuestión, para el mejoramiento de los índices de evaluación.

Entregables:

- Memorias de diseño geométrico complementarias.
- Evaluación de criterios, con base en la metodología expuesta en el Capítulo 2: cálculo de ponderadores para cada alternativa – por criterio, análisis de consistencia, análisis de indicadores, generación de la matriz de comparación de criterios, cálculo de los ponderadores generales de cada criterio.

Objetivo 2: Prediseño de la alternativa seleccionada

Actividades:

- Desarrollo de dibujos a escalas más detalladas, 1:500 y 1:200, de plantas que incluyan cortes o perspectivas suficientes para la comprensión espacial del proyecto y para establecer las bases que permitan reafirmar la viabilidad desde el punto de vista técnico.
- Implementación de mobiliario urbano y vegetación.
- Prediseños para ciclorruta (en caso que aplique) de acuerdo a los lineamientos dados por la SDP.

Entregables:

- Plantas del diseño urbano-paisajístico y del espacio público a escalas entre 1:500 y 1:100 según se requiera para vías vehiculares, vías peatonales, separadores, antejardines, ciclorrutas, plazoletas, zonas verdes, zonas blandas o semiduras estructuras, etc., y demás elementos ambientales y urbanos necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto vial, dentro de los límites del contrato.
- Proyecto urbano con la implementación del mobiliario urbano, la vegetación y demás accesorios previstos para la caracterización e idóneo funcionamiento de la vía y sus espacios complementarios.

- Perfiles transversales y longitudinales arquitectónicos tipo de paramento a paramento con sus correspondientes detalles. Entre escalas 1:100 y 1:250.
- Perfiles transversales de paramento a paramento cada que sean necesarios, si el prediseño lo requiere y longitudinales para la construcción, que contemple entre otros los niveles de los diferentes tipos de acceso a predios, rasantes actuales vs. definitivas. Entre escalas 1:100 y 1250.
- Memoria de prediseño que contenga el informe general urbano paisajístico del proyecto; se incluyen figuras, planos y esquemas de soporte. También ajustes a la memoria de diagnóstico si es del caso.

3. ESTUDIO DE DISEÑO DEFINITIVO

3.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Insumos:

- Diseño geométrico, urbanístico, arquitectónico y paisajístico definitivo.
- Complementación de la señalización vertical y horizontal definitiva suministrada por el diseñador geométrico.

Objetivo 1: Diseño de tránsito definitivo
Actividades:

- Estudios de campo complementarios y de actualización si se requieren.
- Modelación Final en red y para casos puntuales.
- Diseño de detalle de intersecciones semaforizadas, con instalaciones y equipos. Incluye obras civiles (canalizaciones, mobiliario urbano, poste y pedestal del equipo), diseños eléctricos (identificación puntos de acometida y diseños del circuito eléctrico para los distintos grupos semaforizados) y diseño geométrico definitivo de la intersección.
- Diseño del Plan de Señales, cuyo alcance abarca la determinación de los grupos de señales vehiculares y peatonales necesarios para la óptima operación de cada una de las intersecciones, elaboración de mínimo cuatro (4) planes de señales, de acuerdo a los conteos de tráfico actualizados tomados para cada una de las intersecciones y siguiendo los parámetros estipulados en la norma Rilsa, cálculo de la matriz de tiempos de seguridad o intermedios, cálculo de desfasajes y elaboración del diagrama de coordinación semafórica para las intersecciones que conforman un corredor semaforizado, programación del automático de semana.
- Estructuración del plan de señalización definitivo.
- Diseño del plan de manejo de tránsito, incorporando la microsimulación de la situación con proyecto. Evaluación en función de las etapas constructivas.

Entregables:

- Plan de señalización propuesta para la etapa de intervención y para el proyecto definitivo, con las correspondientes tablas y anexos de georreferenciación, según los estándares solicitados por la Secretaría Distrital de Movilidad.
- Ingeniería de detalle de los semáforos a implementar.
- Informe técnico del Plan de Manejo de Tránsito.
- Trámite de aprobación del Plan de Manejo del Tránsito ante la Secretaría de Movilidad de Bogotá.
- Documentos correspondientes al PMT de la obra aprobado por la SDM.
- Plano de la señalización a implementar con la ubicación de la misma, para la obra a desarrollar, aprobados por la SDM.
- Copia impresa tanto del documento como del plano aprobado, así como el concepto de la SDM mediante el cual se dio la aprobación de los mismos.

3.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOMÉTRICOS Y DE SEGURIDAD VIAL

Insumos:

- Plano escala 1:500 de la señalización vertical propuesta en el prediseño de tránsito.
- Planos escala 1:1000 de las medidas de gestión propuestas en el prediseño de tránsito.
- Prediseños y posteriormente diseños definitivos de las demás áreas.

Objetivo 1:
Actividades:

- Ajustes de lo que sea necesario en función de la integración con las demás áreas.
- Repetición, corrección y complementación de las actividades señaladas en el prediseño.
- Diseño de detalle planimétrico y altimétrico de las ciclorrutas.
- Cálculo, generación y procesamiento en AutoCAD de los planos de coordenadas sobre bordes de calzada y ejes de diseño, los cuales coinciden con los mismos puntos definidos para cotas de pavimento (para calzadas vehiculares y ciclorrutas).
- Elaboración de los modelos digitales 3D del diseño propuesto. El modelo debe integrar la señalización horizontal y vertical y los elementos del espacio público, mobiliario y paisajismo.
- Generación de secciones transversales, cada 20 m.

Entregables:

- Memorias del diseño definitivo.
- Planos de los diseños definitivos en planta a escala 1:500.
- Planos de los diseños definitivos en rasante y peraltes a escala horizontal 1:500, vertical 1:50, para calzadas vehiculares y ciclorrutas. En el caso de corredores, los planos deben incluir planta y perfil simultáneamente. Para los ejes de diseño de las intersecciones las plantas geométricas y los perfiles pueden presentarse por separado.

- Planos de cotas de pavimento en planta a escala 1:500.
- Planos de coordenadas en planta a escala 1:500.
- Planos de secciones transversales del corredor a escala 1:100, cada 10 m.
- Modelo 3D del diseño definitivo integrado con los elementos de las demás áreas.

3.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANOS, PREDIALES, PAISAJÍSTICOS Y DEL ESPACIO PÚBLICO

Insumos:

- Prediseño urbano, predial, paisajístico y del espacio público.
- Diseño geométrico definitivo de calzadas vehiculares y ciclorrutas.
- Diseño de tránsito definitivo.
- Diseño estructural definitivo.

Objetivo 1:
Actividades:

- Elaboración de planos y cómputos necesarios para la fabricación, instalación y mantenimiento del mobiliario urbano, para el tratamiento de andenes, bulevares y/o plazas del proyecto, así como las especificaciones del tipo de plantas a ser utilizadas en el tratamiento paisajístico de cada sector del proyecto y las recomendaciones para su conservación.

Entregables:

- Plantas del diseño urbano-paisajístico y del espacio público a escalas entre 1:500 y 1:100 según se requiera para diseño de superficies duras y semiduras.
- Proyecto urbano con la implementación del mobiliario urbano y vegetación definitivos, aprobados por parte del SDP, los cuales deben incluir el diseño de los antejardines que contemplen el área total del mismo predio a predio, nomenclatura del predio correspondiente al antejardín, propietario y demás información concerniente a éste espacio a escala entre 1:100 y 1:500.
- Diseños definitivos de ciclorruta (en caso que aplique) de acuerdo a los lineamientos dados por la SDP y debidamente aprobados por parte del IDU y del SDP.
- Plantas de detalles constructivos del diseño vial propuesto a escalas entre 1:10 y 1:50 que debe incluir entre otros estructuras especiales, acabados, mobiliario, vegetación existente a conservar y la vegetación propuesta, modulaciones, etc., debidamente acotados y con sus especificaciones.
- Perfiles transversales y longitudinales arquitectónicos tipo de paramento a paramento con sus correspondientes detalles. Entre escalas 1:20 y 1:250.
- Perfiles transversales de paramento a paramento cada que sean necesarios, si el diseño lo requiere y longitudinales para la construcción, que contemple entre otros los niveles de los diferentes tipos de acceso a predios, rasantes actuales vs. definitivas. Entre escalas 1:20 y 1250.

- Memoria de diseño, documento definitivo que contenga el informe general urbano paisajístico del proyecto, se incluyen figuras, planos y esquemas de soporte.

4. PRESENTACIÓN DE PLANOS DE DISEÑO

4.1 SEÑALIZACIÓN

Los planos de señalización (demarcación horizontal y señalización vertical) son fundamentales para el entendimiento del proyecto por parte de cualquier individuo interesado. Los de demarcación deben generarse en las etapas de prefactibilidad, factibilidad y diseño definitivo; siendo en esta última etapa donde se presentará el detalle de todos los elementos complementarios a la demarcación, como las tachas, tachones, balizas, estoperoles, boyas etc, en conjunto con la señalización vertical revisada y acordada conjuntamente entre el diseñador geométrico y el especialista en tránsito.

La señalización deberá diseñarse en función de la normatividad vigente. No obstante, siempre se deberá garantizar que las señales sean:

- Visible: su ubicación no debe estar obstruida y debe ser apreciable desde una longitud igual a la distancia de visibilidad de decisión y dentro de los ángulos frontal y lateral del conductor, el material usado debe ser retroreflectivo, el sector debe contar con buena iluminación y no debe existir contaminación visual que opaque la señal.
- Conspicua: que atraiga la atención, contraste con el entorno, tenga el tamaño adecuado y responda a la expectativa del conductor.
- Legibles en toda situación y tiempo: los tamaños y anchos de fuente y el contraste de colores debe permitir el entendimiento de la señal como mínimo desde una longitud igual a la distancia de visibilidad de decisión y teniendo en cuenta que por cada centímetro de altura de texto se tiene un máximo de distancia de legibilidad de 5 m (para un conductor con visión 20-20 entre 25 y 30 años). Preferiblemente los textos de las señales informativas deben estar escritos en minúscula pues está comprobado que en movimiento pueden entenderse con mayor precisión que si estuvieran en mayúscula (Speier, Road Safety Solutions, 2010).
- Pertinentes: qué sea necesaria, que permita una reacción a tiempo, que anuncie maniobras seguras.

En cuanto a la demarcación horizontal, es importante que las flechas direccionales, tipos de línea de borde, demarcación de carril, ceda el paso, bifurcaciones, cebras, líneas de pare y otros, así como los tipos de elementos canalizadores (las tachas, tachones, balizas, estoperoles, boyas, entre otros), sean presentados en los planos con las magnitudes reglamentadas en escala real, adicionando los detalles que se requieran. La demarcación debe estar acompañada con una edición del dibujo tal que permita mediante colores y/o texturas, la clara diferenciación de zonas de pavimento, zonas verdes, sardineles, zonas de elevadas y deprimidas, etc. Es funda-

mental que el plano de señalización incluya el espacio público y el paisajismo para verificar la coherencia de los diseños. Los planos deben presentarse en escala 1:200 con detalles hasta en 1:50 según la precisión que se requiera.

En relación con la señalización vertical también debe incluirse en el mismo plano según los requerimientos propios de la entidad encargada de la aprobación, presentando siempre el cuadro de georreferenciación con las coordenadas de localización y el código de cada señal.

4.2 PLANTA-PERFIL

Los planos de planta y perfil deberán presentarse mostrando simultáneamente un tramo vial con planta, peraltes y perfiles cuándo se trate de corredores, o mostrando en planos separados plantas y perfiles con peraltes, cuándo se trate de intersecciones. Aplica para calzadas vehiculares y para ciclorrutas.

4.2.1 Presentación de la planta

- Escala 1:250. Presentar escala gráfica.
- Orientación del proyecto y cuadrícula de coordenadas.
- Eje(s) del proyecto rotulado(s) con abscisado cada 10 m y nomenclatura, también abscisada, de los puntos singulares. Todo debe presentarse con textos legibles para la escala de presentación y con máscaras que permitan clarificar y resaltar los datos cuando se superpongan elementos.
- Referencia detallada de las abscisas de iniciación y terminación del proyecto.
- Referencia detallada de la localización de puntos de inflexión.
- Tabla de elementos de curvatura del proyecto, incluyendo como mínimo los siguientes datos:

Figura 1. Campos mínimos del cuadro de elementos de curva

ELEMENTOS DE CURVA EJE DE CALZADA: <ZP>																				
P.I No	COORDENADAS		AZIMUT	DISTANCIA	Δ	ELEMENTOS DE LA ESPIRAL						ELEMENTOS DE LA CIRCULAR					ABSCISADO			
	NORTE	ESTE				Le	Te	Ee	P	θe	A	Δc	Rc	Lc	T	Ex	TE/PC/PQ	EC/EE	CE	ET/PT

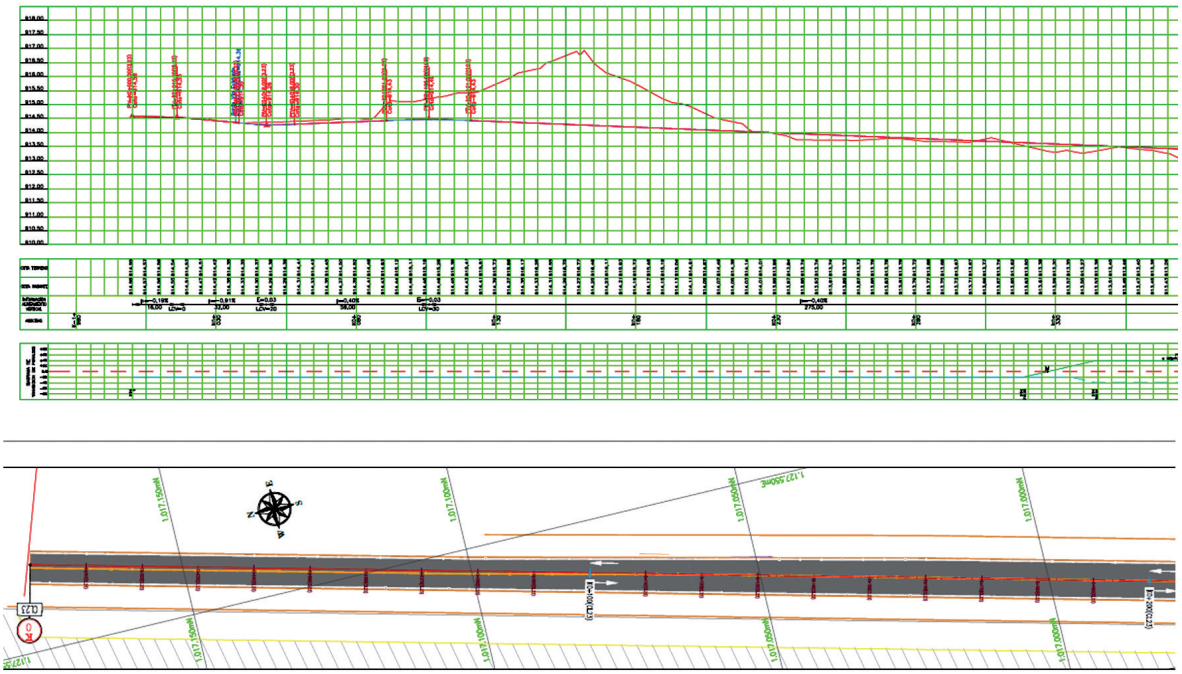
Fuente: Elaboración propia.

- Acotamientos de la sección transversal en zonas típicas y zonas singulares. Acotamiento de radios de narices.
- Manzanas y bocacalles debidamente nombradas de acuerdo con la topografía.
- Localización de cuerpos de agua con sus respectivos nombres de ríos y quebradas, indicando los sentidos de las aguas.
- Ubicación y nombre de accidentes geográficos, barriadas, corregimientos y distrito que tengan comunicación con el proyecto.
- Esquema de la sección transversal típica.
- Localización de las estructuras de drenaje proyectadas.

4.2.2 Presentación del perfil

- Escalas H=1:500 y V=1:50
- Perfil de terreno existente por el eje.
- Proyecto de rasante con indicación de pendientes y elementos de curvas verticales (abscisas y cotas de PCV, PIV, PTV).
- Cuadro con cota de terreno, cota de rasante cada 5 m. Información del alineamiento vertical (pendiente, longitud de tangente y longitud de curva vertical).
- Localización de puentes y acotamiento de gálibos verticales.
- Localización de sondeos y sus correspondientes perfiles estratigráficos.
- Nombres de ríos, quebradas, canales y fuentes hídricas.

Figura 2. Ejemplo de presentación de planos planta perfil para corredores



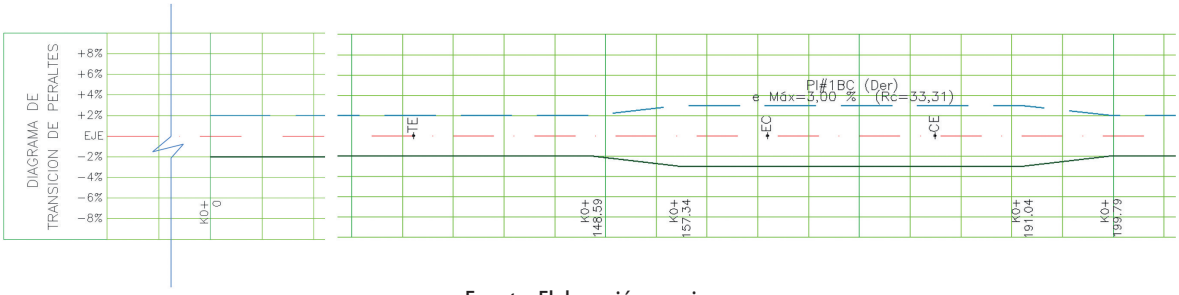
Fuente: Elaboración propia.

4.3 PERALTES

El diagrama de peraltes debe presentarse de forma tal que la altura del marco o cuadricula donde se presenta tenga 4 cm medidos en escala de ploteo, con capacidad para disponer hasta un peralte máximo del 10%.

En el diagrama se deben indicar los puntos de concatenación, abscisar los puntos de quiebre y especificar el número del punto de inflexión, nombre del eje, peralte máximo y radio de la circular.

Figura 3. Ejemplo de presentación de peraltes



Fuente: Elaboración propia.

4.4 COTAS Y COORDENADAS DE PAVIMENTO

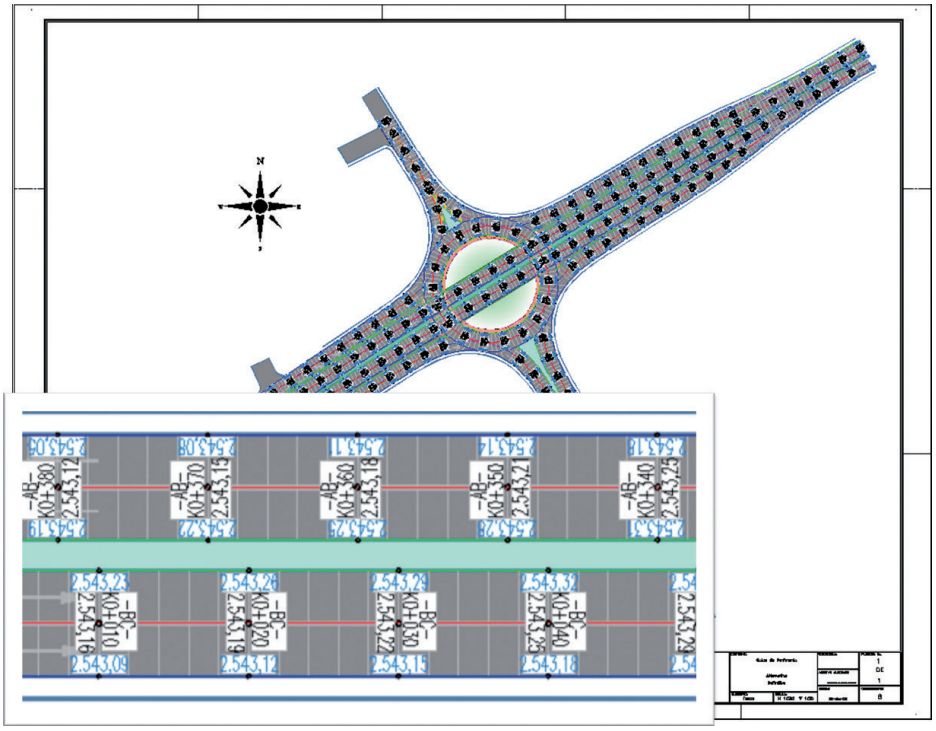
Las cotas y coordenadas de pavimento deberán presentarse en escala 1:500, cada 5.0 m, verificando que para cada punto con cota de pavimento, exista un par con coordenada asignada.

En corredores las cotas se deben disponer sobre el eje de diseño, indicando el abscisado y el nombre del eje al cual pertenecen; complementariamente se deben disponer cotas por bordes de calzada. En intersecciones también deberán colocarse las respectivas cotas de pavimento, debidamente localizadas sobre el eje en referencia y acompañadas por cotas en los bordes de vía y sobre las líneas contacto para el manejo de peralte en bifurcaciones (Véase Capítulo 4. Bifurcaciones).

Deben acompañarse de líneas transversales que asocien con mayor claridad las cotas que para una misma abscisa corresponden al eje y los bordes. Estas líneas en el modelo digital pueden servir para la configuración tridimensional de los corredores que hacen parte del modelo.

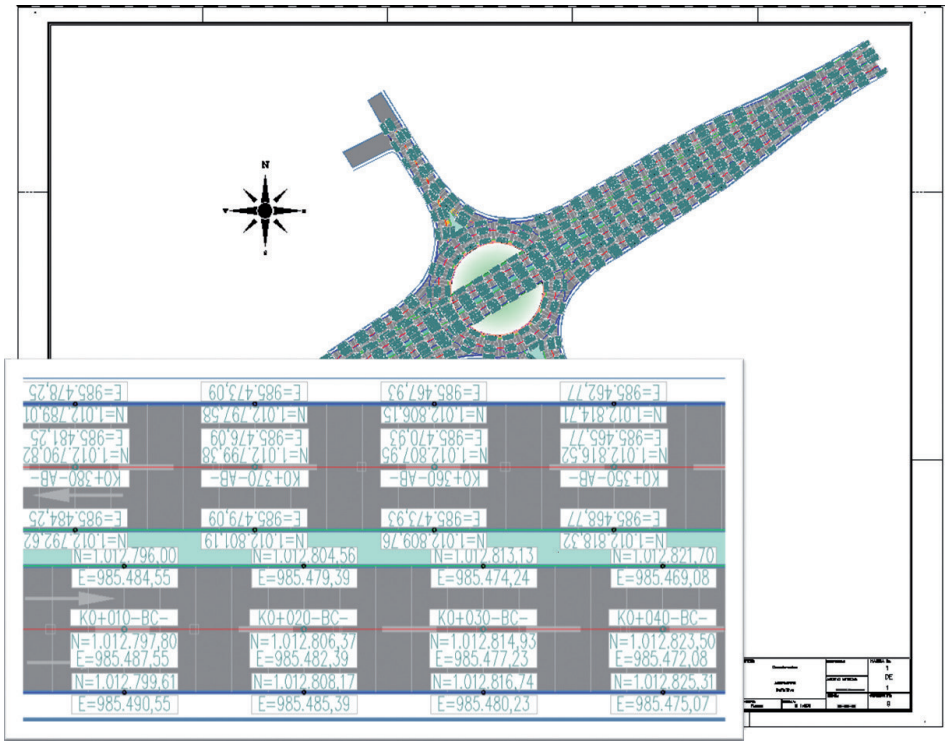
Para la presentación de un plano que permita resaltar las cotas o las coordenadas sin perder la esencia del diseño, se recomienda disponer una marca de agua con el esquema de demarcación, y debajo el conjunto de bloques que indican las elevaciones o las coordenadas.

Figura 4. Ejemplo de presentación de cotas de pavimento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Ejemplo de presentación de coordenadas de pavimento



Fuente: Elaboración propia

4.5 SECCIONES TRANSVERSALES

La presentación de los planos de secciones en un proyecto vial debe permitir un análisis de la integración de la vía a diseñar con su entorno y el terreno.

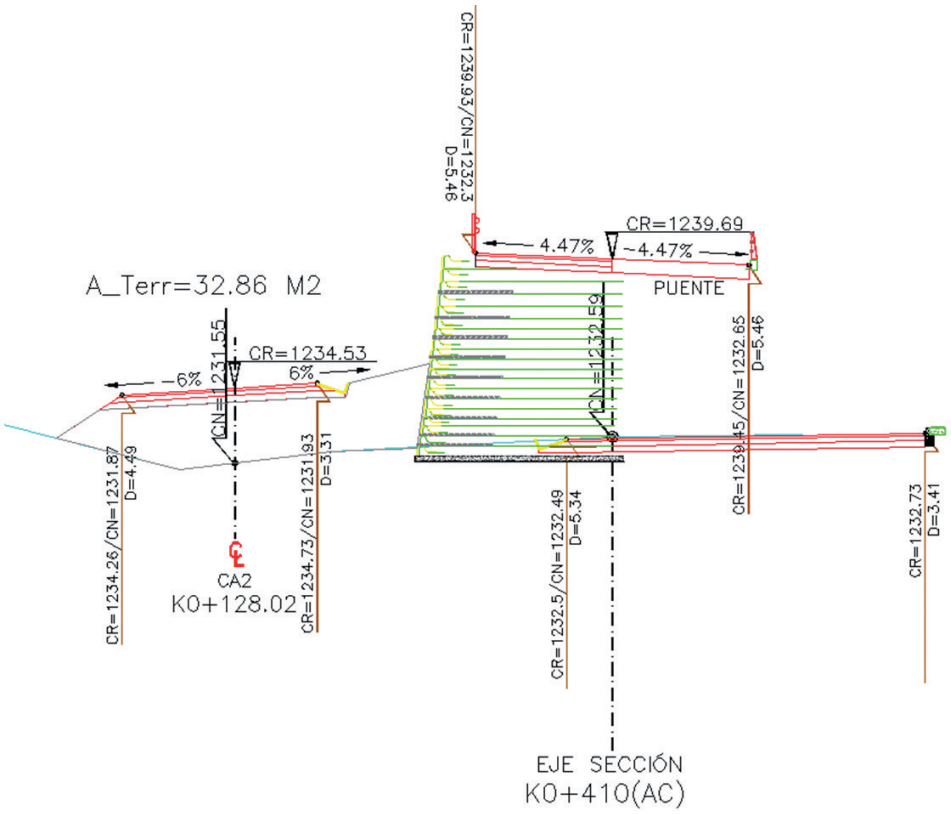
Para vías doble calzada o múltiples calzadas, la sección transversal debe contemplar todas las calzadas con el fin de realizar un análisis integral y poder observar aspectos como pendientes de separadores, efectos de rasante de una calzada sobre otra, etc. (INVIAS, MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2008).

Siempre se debe presentar la superficie del terreno natural, esto con el fin de evaluar si la alternativa propuesta se adapta de la mejor forma al entorno sin dejar de cumplir sus funciones. En el plano deben figura los siguientes aspectos:

- Sardineles (alto).
- Andenes con sus anchos y sus pendientes transversales.
- En zonas de equipamientos urbanos, se debe realizar un perfil de estos.
- Ciclo vías con su ancho y pendiente transversal.
- Perfil transversal del terreno.
- Cota negra y cota roja.
- Peraltes.
- Acotaciones de los anchos de corona.
- Anchos de separador.
- Anchos de calzada.
- Anchos de carriles.
- Bermas (Autopistas Urbanas).
- Sobreanchos.
- Vías lentas o de adelantamiento.
- Acotación de los taludes de corte y terraplén (terreno montañoso y ondulado).
- Áreas de corte y relleno.
- Detalles de las capas de estructura de pavimento.
- Detalles de los elementos de drenaje superficial y del drenaje subterráneo longitudinal, reflejando su ubicación respecto al resto de los elementos.

Siempre la escala vertical y horizontal de la sección debe ser la misma (no se admiten distorsiones). Para zonas urbanas, la escala debe ser de 1:100; además las secciones de un tramo vial urbano se deben presentar cada 10 m.

Figura 6. Ejemplo de presentación de secciones transversales



Fuente: Elaboración propia.

GLOSARIO

Abocinamiento o cuello de botella	Cambio de sección en un acceso para acomodarse a las exigencias de la ocupación en curva del vehículo de diseño.
Acera	Margen o límite de las calles, destinados al tránsito de personas.
Actores viales	Grupo de personas que interactúan en una red, corredor, o intersección vial. Existen dos tipos: motorizados y no motorizados.
Alameda	Franja de circulación peatonal exclusiva, arborizada y dotada del respectivo mobiliario urbano. No excluye la disposición de ciclorrutas.
Alternativa	Aquella que es capaz de alternar con otra u otras con funciones semejantes, pero con planteamientos de solución diferentes. Deben ser excluyentes, razonables, comparables y por último, realizables.
Andén	Área lateral de una vía destinada a la permanencia y al tránsito exclusivo de peatones; se complementa con las zonas a bordadoras, zonas de mobiliario, zonas verdes, entre otras.
Ángulo de deflexión	Ángulo que se mide entre una tangente y la prolongación de la anterior; corresponde al ángulo central de la curva necesaria para enlazar dos alineamientos rectos.
Atenuador de impacto	Son dispositivos de contención vehicular que protegen de choques frontales en donde las barreras no sean efectivas. Su objetivo principal es reducir las consecuencias de un choque frontal, absorbiendo la energía cinética del vehículo, mediante la deformación del sistema.
Autopistas urbanas	Vía arterial de alta velocidad con funcionamiento a través de peaje urbano que permite desplazamientos rápidos y directos. Cuenta con control total de accesos e intersecciones a desnivel.
Auditoria de seguridad vial ASV	Estudio formal de las condiciones de seguridad vial de una obra de infraestructura vial y/o de transporte, cuyo producto final consiste en una serie de recomendaciones frente a los hallazgos y riesgos identificados. Su función no es la de una interventoría, sino que traspasa los niveles normativos y contractuales, para alertar en torno a la infraestructura, la operación y vulnerabilidad de los usuarios de proyectos en etapas de prefactibilidad, factibilidad, diseño, construcción u operación. Sirve para minimizar la necesidad de ejecutar medidas correctivas después de la construcción, mejorar la seguridad vial, eliminar o mitigar riesgos y especialmente, como medida netamente preventiva.
Bahía	Parte complementaria de la vía localizada entre la calzada y el andén, cuenta con una zona de aproximación, una de transición de ingreso, zona de parada y una transición de salida.

Berma	Fajas comprendidas a los lados de los carriles de circulación. Permiten incrementar la capacidad de las vías al generar la sensación de amplitud en la sección, albergar vehículos averiados de modo que no se interrumpa el flujo continuo y habilitar zonas de desvío en caso de eventualidades. Su uso en vías urbanas no es muy común limitándose a futuros proyectos de autopistas urbanas.
Brecha	Tiempo que transcurre entre el paso, por un punto fijo de una vía, del extremo posterior de un vehículo y el delantero del vehículo que lo precede en la vía. Se asigna al vehículo de atrás si éste sigue al de adelante.
Bifurcación	División de una vía en dos ramales.
Bombeo normal	Pendiente transversal de la superficie de rodadura en los tramos rectos de la vía que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua y evitar fenómenos de hidroplaneo.
Bordillo	Elemento de concreto, asfalto u otros materiales ubicado en los bordes de la calzada y que sirve para la delimitación y/o confinación de espacios urbanos.
Calzada anular	Calzada que circula alrededor del islote central en una intersección tipo glorieta.
Calzadas complementarias	Corresponden a calzadas paralelas a las principales, que aparecen y desaparecen en la zona de influencia directa de las intersecciones, para generar la recolección y conexión de las diferentes corrientes vehiculares a las rampas y enlaces. El abscisado de este tipo de calzadas puede coincidir con el sentido de circulación vehicular.
Calzada de servicio	Calzada paralela a la vía principal y con menores especificaciones que ésta, tiene carácter local de apoyo a las actividades urbanas como el acceso a predios, así como a las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros mejorando la velocidad y operación en general de la vía principal. Su conexión a se da en lugares específicos.
Calzadas principales	Son aquellas destinadas al tráfico vehicular en general, con las restricciones de tráfico que impone la vocación de la vía. En vía de varias calzadas, corresponden a las más rápidas, con control parcial o total de accesos. Para efectos de diseño, se abscisan en una sola dirección, independientemente del sentido del flujo.
Calzada vehícular	Es una franja física y geométricamente definida mediante un eje en planta, una rasante, peraltes y un ancho total determinado por el ancho y cantidad de carriles y las dimensiones de las bermas (las bermas solo aplican para el caso de autopistas urbanas). Su función es soportar un determinado tráfico vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros.

Calzadas solobus	Corresponden a aquellas calzadas con tránsito exclusivo de buses de transporte público, colectivo o masivo; pueden ser centrales o laterales dependiendo del sistema de ascenso y descenso a los buses, es decir, puerta derecha, puerta izquierda, o ambas. Independientemente de que se segreguen del tránsito mixto mediante un separador físico o tachas, deben contar con un eje de diseño independiente. Lo anterior debido a dos situaciones: la dependencia transversal de otras calzadas podría afectar la accesibilidad a predios o a los esquemas de drenaje superficial; requiere de tratamientos especiales, por ejemplo, en zona de estaciones, en donde los bordes de calzada adjuntos a la estación deben ser completamente horizontales longitudinal y transversalmente.
Canalización	Conjunto de señales y/o estructuras viales que permiten guiar al vehículo de modo seguro en un segmento de la vía.
Carril adicionado	Carril que se adiciona a la vía principal. Se utiliza para permitir la maniobra de entrecruzamiento o para aumentar el volumen de la vía principal.
Carril bici	Carriles para bicicletas que forman parte de la calzada vehicular. Pueden estar segregadas físicamente o con señalización y ser adyacentes al carril externo (lento) o al interno (rápido).
Carril de aceleración	Carril paralelo a la calzada vehicular que permite a los vehículos que deben incorporarse a la calzada principal, adquirir una velocidad similar a la que desarrollan los vehículos en la calzada principal.
Carril de desaceleración	Carril adicional que permite a los vehículos disminuir la velocidad que llevan al ingresar, para alcanzar la velocidad del ramal de enlace o de salida. Debe poseer una zona de aproximación o longitud de transición que está en función de las velocidades del ramal de entrada y del ramal de salida.
Carril de paso	Carril que permite el tránsito de los vehículos que van a hacer la maniobra de entrecruzamiento mezclados con algunos vehículos que no la realizarán.
Carriles de entrecruzamiento	Son los carriles en donde los vehículos realizan las maniobras de entrecruzamiento.
Carriles de estacionamiento	Se definen como franjas habilitadas sobre la calzada con el fin de facilitar las paradas temporales de vehículos.
Ciclorruta	Franjas para ciclistas segregadas físicamente del tránsito motorizado, localizadas sobre andenes o separadores centrales. La canalización con respecto al tránsito peatonal puede ser física, con señalización y/o cambios de textura.
Clotoides	Son curvas de transición que permiten enlazar alineamientos rectos con circulares o en sentido contrario, también pueden enlazar dos alineamientos rectos o dos alineamientos circulares de igual o sentido contrario.
Complementación	Se trata de intervenciones que fueron proyectadas durante las etapas de preinversión de los proyectos, en el marco de una ejecución por fases, o ajustes al proyecto original en respuesta a la dinámica de crecimiento urbano. Puede exigir niveles de actuación similares a los de los proyectos de construcción, pero no demanda transición por las etapas de prefactibilidad ni factibilidad.
Concatenación	Es el diseño de vías consistente en el acto de unir o enlazar diferentes elementos de diseño geométrico.
Confluencia vial	Es la unión en una sola calzada de dos o más flujos vehiculares.

Conservación	Acción orientada a garantizar que se cumpla con el período de vida útil o a ampliar un nuevo período. Incluye las categorías de rehabilitación, mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico.
Construcción	Se trata de aquellos proyectos completamente nuevos o que exigen intervenciones como adición de calzadas, implementación de carriles exclusivos para transporte masivo, desmonte y/o construcción de puentes, túneles, pasos a desnivel, rampas y orejas, obras de drenaje, y espacio público nuevo.
Construcción de una vía	Se trata de aquellos proyectos completamente nuevos o que exigen intervenciones como adición de calzadas, implementación de carriles exclusivos para transporte masivo, desmonte y/o construcción de puentes, túneles, pasos a desnivel, rampas y orejas, obras de drenaje, espacio público nuevo. Esta categoría incluye intervenciones que parten desde cero, es decir, sin infraestructura vial existente, o proyectos sobre infraestructura existente que se derivan de una necesidad detectada en la etapa de operación del corredor o intersección en cuestión y que exigen nuevos análisis y diseños de detalle.
Convergencias	Se trata de la unión de dos o más flujos vehiculares para formar un solo flujo: esta situación causa competencia por el uso de la vía generando una zona de conflicto la cual debe ser minimizada con una geometría que disminuya los impactos del movimiento y garantice una circulación cómoda y segura.
Corredor vial	Zona de circulación vehicular, ciclística y/o peatonal, con una trayectoria definida, compuesta por una franja de operación vehicular y unas franjas de espacio público lateral claramente delimitadas. Se constituye por una sección transversal de paramento a paramento, que incluye entro otros elementos, las calzadas, separadores, andenes, ciclorrutas franjas abordadoras, franjas de amoblamiento, zonas de protección ambiental, entre otras. A nivel urbano la distribución y dimensión de estas franjas determinan el perfil vial y por consiguiente la jerarquía del corredor. Longitudinalmente se definen mediante ejes de diseño geométrico para cada calzada vehicular.
Cotas	Elevación referida al nivel medio del mar.
Cruce sesgado	Es la trayectoria no lineal que sigue un vehículo que cruza una calzada transversalmente.
Cuña	Área de transición presente en el inicio o terminación de un carril cuyas funciones son la transición de velocidades y la incorporación de un flujo a otro. Pueden ser de dos tipos, el primero de incorporación al flujo pricipal o de convergencia, y el segundo de salida del flujo principal o divergencia. Geométricamente se componen de una longitud recomendada y concatenaciones circulares con radios seleccionados en función de las velocidades. Adicionalmente permiten una incorporación más paralela al flujo principal y con mayor visibilidad.
Curva horizontal	Trayectoria que une dos tangentes horizontales consecutivas. Puede estar constituida por un empalme básico o por la combinación de dos o más de ellos.
Curva vertical	Curvas utilizadas para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el movimiento vertical de los vehículos; permiten la seguridad, comodidad y la mejor apariencia de la vía. Casi siempre se usan arcos parabólicos porque producen un cambio constante de la pendiente.

Curva de transición	Son alineamientos de transición entre los alineamientos rectos y curvos de una vía que permiten garantizar un cambio gradual de la curvatura desde cero hasta un valor finito en el arco circular permitiendo además, que la inclinación transversal de la vía pase gradualmente del bombeo normal al peralte de la curva.
Demanda	Número de vehículos que desean cruzar un punto durante determinado lapso de tiempo, en otras palabras se refiere al volumen más los vehículos remanentes en cola.
Derecho de vía	Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.
Diamante, cruce divergente	Intersección que se caracteriza por la forma de diamante que configuran sus ramales, pero que se identifica especialmente por contar con una zona en la cual el tránsito se realiza con circulación por el lado izquierdo al estilo inglés. Como consecuencia la intersección presenta unas áreas de cruce que se pueden manejar con pare o semáforo, según los volúmenes y rampas que facilitan los giros izquierdos como si fueran derechos, es decir, de forma directa.
Diseño definitivo	Es la etapa final antes de pasar a construcción, en ésta se detallan los aspectos técnicos definitivos del proyecto, al nivel de un proyecto de ingeniería fase III (ingeniería de detalle).
Disloque	El disloque es el desplazamiento hacia la parte interna de la curva circular en una concatenación con espirales en la cual se realiza la transición del radio inicial de la espiral al radio que tiene el arco circular. El disloque se obtiene de la diferencia entre la perpendicular que sale del centro del arco circular hacia la tangente espiral y el radio del arco circular.
Distancia de visibilidad de decisión o percepción-reacción	La distancia de decisión se refiere a la longitud requerida para detectar algo inesperado o para percibir una fuente de información en un ambiente urbano, especialmente aplicable a arterias principales y secundarias, definir la reacción o acto a implementar, y/o seleccionar la velocidad y el recorrido o ruta e iniciar la maniobra.
Distancia de visibilidad	Es la distancia sobre la vía que el conductor puede observar delante de él. La distancia de visibilidad mínima que dispone un conductor debe ser lo suficientemente larga, para que le permita transitar a una velocidad cercana a la de diseño y que al divisar un objeto al frente de su trayecto pueda detenerse o ejecutar una determinada acción sin incurrir en maniobras difíciles que afecten sus condiciones de seguridad (AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011).
Distancia de parada	Es la distancia necesaria para que un vehículo que circula a la velocidad de diseño se detenga al ver un objeto en su camino, sin que haya lugar a maniobras peligrosas, colisiones o paradas súbitas. Este concepto, se puede entender como la suma de dos distancias, la primera es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor observa el objeto o señal delante de él y el instante en que aplica los frenos del vehículo. La segunda, es la distancia recorrida por el vehículo desde cuándo el conductor aplica los frenos del vehículo y el instante en que se detiene.

Distancia de adelantamiento	En vías que poseen dos carriles que circulan en sentidos contrarios, los conductores necesitan invadir el carril contiguo e incrementar su velocidad respecto al vehículo que va a sobrepasar para realizar la maniobra de adelantamiento. A la distancia necesaria para realizar esta maniobra de forma cómoda y segura se le llama distancia de visibilidad de adelantamiento.
Divergencias	Proceso que consiste en la disgregación de una corriente vehicular en corrientes independientes, o simplemente la separación de un vehículo de una corriente principal.
Energía Cinética	Es la energía que posee un cuerpo en movimiento. La cantidad de energía depende de la masa del cuerpo en movimiento y de su velocidad.
Especie	Característica típica de un hábitat; especie de flora o fauna cuya dominancia es típica para un tipo de hábitat específico.
Espinas de pescado	Conocidas técnicamente como líneas de separación de rampa de entrada o salida, tienen por objeto hacer la separación entre una vía de alta velocidad y la rampa de entrada o salida.
Estribos	Constituyen los apoyos de un puente. Un estribo cumple dos funciones: soporta el extremo de un tramo de puente y proporciona cuando menos algo de soporte lateral para el suelo o la roca en la que descansa la calzada inmediatamente adyacente al puente. Por lo tanto, un estribo combina las funciones de pila de subestructura y de muro de contención.
Entrecruzamiento	El entrecruzamiento se presenta cuando dos corrientes vehiculares que viajan en el mismo sentido confluyen, siguen combinados por cierto tiempo y luego se separan. Durante este proceso, cierto número de vehículos pasan de la corriente derecha a la izquierda y viceversa, mediante cambios de carril, cruzando mutuamente sus trayectorias, sin la intervención de instrumentos de control.
Evaluación expost	Evaluación que se hace después de realizar un diseño o luego de la entrada en operación de una vía con el objetivo de evaluar diferentes aspectos.
Factibilidad	Se lleva a cabo un estudio más riguroso acerca de la(s) alternativa(s) seleccionada(s), detallando los aspectos que la(s) hacen viable(s), y perfeccionando el diseño de manera que si aún se están evaluando alternativas, existan criterios más precisos para escoger solo una de ellas.
Gálibo	Espacio transversal y longitudinal libre que debe haber entre la superficie de la vía y cualquier obstáculo lateral o sobre la vía como puentes o pasos a desnivel.
Glorieta	Intersecciones que se basan en la circulación de todos los vehículos por una calzada anular, en la que confluyen las diferentes vías o ramales, que discurre en torno a un islote central de diámetro mayor a 4 metros y que funcionan con prioridad a los vehículos de la calzada anular.
Glorieta a desnivel	Son aquellas en las cuales alguno, o todos los flujos directos son canalizados a través de un puente o un paso deprimido, restando así volumen a la calzada anular. El diámetro dependerá del ancho de sección de las calzadas a empalmar, de forma tal que en ningún caso se configuren accesos tangenciales a la calzada anular; así, la velocidad estará regulada por la velocidad específica en los accesos a la intersección.

Glorietas grandes	Son aquellas con diámetros mayores a 100 m. Este tipo de intersección, no es recomendable en ámbito urbano, pues presentan el problema de inducir altas velocidades de circulación, sin aumentar sustancialmente la capacidad y requiriendo grandes áreas para su desarrollo.
Glorietas normales	Son aquellas con diámetros entre 4 y 30 m, con velocidades específicas de circulación, de hasta 30 km/h. Generalmente su implementación se asocia a vías arteriales complementarias, arteriales intermedias y locales, permitiendo conectar vías desde perfiles V3 a V8.
Herramientas determinísticas	Herramienta que no involucra la variabilidad en las variables que intervienen en el tránsito, basándose en la relaciones matemáticas para predecir demoras, capacidad, velocidad, colas y demás indicadores de operación.
Hidroplaneo	Fenómeno que se produce cuando los neumáticos de un vehículo pierden el contacto con el pavimento por una película de agua que se encuentra entre el pavimento y las ruedas produciendo una pérdida de adherencia de las ruedas a la superficie de rodadura y por ende, la pérdida del control.
Indicadores de operación	Es un indicador de desempeño que muestra cómo está funcionando la red, el corredor o la intersección.
Intercambiadores de calzada	Es una apertura en el separador que divide dos zonas vehiculares. Su función es generar una conexión entre las mismas y ofrecer una zona de resguardo para los vehículos que realizan el intercambio, incorporando un proceso de desaceleración, aceleración e incorporación, el cual debe realizarse de forma canalizada y segura.
Intersecciones	Infraestructura vial formada por la unión o cruce de dos o más vías que se encuentran, ya sean en un mismo nivel o bien en distintos, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellos circulan. Dentro de este concepto se incluye todo tipo de conflicto o cruce entre dos o más vías de igual o distinta jerarquía, que funcionen con el simple paso de las vías, a nivel o desnivel, o que incluya enlaces e intercambio a través de rampas y ramales de conexión.
Intersecciones a desnivel semidireccionales	Se caracterizan por presentar ramales a desnivel para uno o más giros izquierdos sobre una dirección específica o próximos a alineamientos direccionales. Se utilizan especialmente para vías arteriales que se cruzan entre sí.
Intersecciones sesgadas,	Son intersecciones en la cual los ramales se interceptan en ángulos menores a 60°.
Isletas canalizadoras o direccionales	Permiten guiar al conductor a lo largo de una intersección indicándole la ruta a seguir. Además, permiten brindar refugio a los peatones y sirve de espacio para la colocación de señales de tránsito o estructuras que permitan la iluminación.
Isletas deflectoras	Obligan al conductor a cambiar la dirección del vehículo orientándolo hacia una nueva configuración geométrica que se requiere para la incorporación a una glorieta. Además, advierte al conductor de la proximidad de una intersección, separa físicamente las corrientes de tránsito que entran y salen, brinda protección al peatón y ayuda a controlar velocidades.

Línea de contacto	Es la línea de borde de vía que es común a las dos calzadas que integran la bifurcación y que se utiliza para amarrar la parte altimétrica sirviendo además de guía para el diseño de las rasantes.
Líneas de deseo de viaje	Son líneas imaginarias que conectan orígenes a destino. Representan una agregación de varios movimientos que coinciden en tiempo y espacio manteniendo cierta estabilidad en corto plazo.
Líneas de flujo	Corresponden a las líneas imaginarias de los flujos Origen-Destino que pueden darse en determinada intersección, para diseñar, evaluar o analizar cada uno de forma particular.
Mantenimiento periódico	Es una práctica preventiva o correctiva que comprende la realización de actividades de conservación a intervalos variables entre 3 y 5 años, destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos. Puede también contemplar la construcción de algunas obras de drenaje menores y de protección faltantes en la vía. Las principales actividades son: recuperación de pavimento (colocación de capas asfálticas no estructurales), parcheo, bacheo, reposición de la estructura de pavimento (no comprometen masivamente las capas inferiores de la estructura del pavimento), reconstrucción o reparación de losas, reparación de andenes, demarcación lineal, señalización vertical.
Mantenimiento rutinario	Se define como el conjunto de actividades tendientes a lograr el cumplimiento de la vida útil de la estructura, constituyéndose en una práctica preventiva. Es un proceso continuo (a intervalos menores de un año) para mantener condiciones de movilidad seguras y cómodas en el proyecto vial. Las actividades incluidas en este tipo de proyecto son: podado de árboles, reconstrucción de obras de contención vehicular afectadas, limpieza de obras de drenaje, sello de fisuras, sello de juntas, limpieza y reparación de señales.
Mantenimiento periódico	Comprende la realización de actividades de conservación a intervalos variables entre 3 y 5 años, destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos.
Mantenimiento rutinario	Se refiere a la conservación continua (a intervalos menores de un año) para mantener condiciones de transitabilidad seguras y cómodas en el proyecto vial. Las actividades incluyen: rocería,, podado de árboles, reconstrucción de obras de contención vehicular afectadas, limpieza de obras de drenaje, reparcheo, limpieza y reparación de señales.
Mejoramiento	Se asocia a las modificaciones geométricas y/o las condiciones de regulación del tránsito, así como de la señalización vertical y demarcación de calzadas, con el fin de mejorar los niveles de servicio y la seguridad vial.
Mejoramiento	Se asocia a las modificaciones geométricas y/o las condiciones de regulación del tránsito, así como de la señalización vertical y demarcación de calzadas, con el fin de mejorar los niveles de servicio y la seguridad vial.
Miniglorietas	Son aquellas con diámetros menores a 4 m, anchos de calzada de hasta 12 m y con islotes centrales pisables, demarcados con pintura. Este tipo de intersección es aplicable solo en cruces de vías locales o donde se requiera la disminución de velocidades a menos de 10 km/h. Para su implementación no debe existir tráfico de carga ni transporte público.

Mobiliario urbano	Son los conjuntos de objetos y piezas de equipamientos que se incorporan a la vía pública con el objeto de atender una necesidad social o prestar un determinado servicio al vecindario. No se consideran mobiliario urbano, los elementos de acondicionamiento frente al ruido, pavimentación, iluminación, arbolado y jardinería y señalización.
Modelo digital del terreno	Los modelos digitales deberán construirse mediante puntos con elevación, polilíneas 2D para elevación constante, y polilíneas 3D de elevación variable en cada vértice, también llamadas breaklines. En fase de diseño definitivo, no es aceptable construir modelos digitales a partir de curvas de nivel o contornos exclusivamente. Es recomendable utilizar un solo modelo digital del terreno y evitar mezclas de modelos creados con diferentes metodologías y precisiones. (no define lo que es un modelo digital)
Modelo macroscópico	Modelos de simulación que se basan en la relación fundamental del tránsito, es decir velocidad, flujo y densidad. Son formados como arcos y nodos tratando los volúmenes en forma agregada.
Modelo microscópico	Modelos de simulación de los movimientos individuales de los vehículos y la interacción entre estos y las condiciones de control del tráfico, para esto hacen uso de teorías de cambio de carril y seguimiento de vehículos.
Muro de contención	Toda estructura que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno al proporcionarle a éste, soporte lateral.
Nariz	Corresponde a los extremos físicos de una isleta u obstáculo presente en la vía, su forma debe ser circular y su radio mínimo es de 0.6 m para la nariz de salida y 1.0 m para la nariz de entrada.
Niveles de servicio	Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.
Ortofotos	Es un documento cartográfico base en el que se reflejan en detalle elementos naturales y antrópicos debidamente georrefenciados. Una ortofoto combina las características del detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.
Orejas vehiculares	Corresponde a la infraestructura a nivel o desnivel que permite realizar un giro vehicular a la izquierda saliendo de un ramal por la derecha e ingresando a otro, también por la derecha.
Paisajismo	Análisis de aspecto escénico del paisaje. Estudio de la percepción de un paisaje según sus características morfológicas y escénicas. Este instrumento de planificación se utiliza para elegir posibles alternativas de uso en un emplazamiento específico y consiste en la representación gráfica y descriptiva de las percepciones y las interrelaciones visuales de aspectos como la topografía del terreno, la textura de las superficies, los corredores visuales y la presencia y ordenación de elementos singulares en la sección del paisaje estudiado.
Paramento	Frente o superficie exterior de un muro o edificación. Aspecto exterior de la estructura de un muro.
Pendiente	Respecto a un plano o línea, corresponde al ángulo que se forma con la horizontal. Puede medirse en grados o en porcentaje.

Pompeyanos	Son resaltos donde la cima del elemento es plana y está destinada al tránsito prioritario de usuarios no motorizados, su objetivo es garantizar la seguridad del peatón y priorizar su paso de forma segura y autónoma; por lo general se ubican en la intersección de la malla vial arterial con la local.
Poligonal	Sucesión de segmentos de recta unidos por sus extremos en puntos denominados Puntos de Inflexión (PI).
Plataforma dentada	Este tipo de paradas permite una aproximación directa a la posición de ascenso y descenso de pasajeros, sin que exista interferencia con las posiciones adyacentes y eliminando la necesidad de realizar la maniobra de aproximación en "S" que se requeriría en las de tipo lineal. La geometría se diseña de forma tal que las posiciones de estacionamiento no interfieren en absoluto con el carril de circulación (no queda ninguna parte del vehículo invadiendo los carriles de circulación) y permitiendo, incluso con holgura, la maniobra de salida.
Plataforma lineal	Corresponde al tipo de paradas en el cual el borde de la plataforma es completamente lineal, por lo tanto es indispensable que el bus realice una maniobra en "S" para aproximarse o salir del puesto de parada, lo que representa un distanciamiento específico entre buses, el cual está en función del tipo de vehículo y su trayectoria; en caso de no existir tal separación, la operación se realizaría en carrusel, sin opción de sobrepaso.
Plataforma poliédrica	Son plataformas de ascenso y descenso de pasajeros que presentan formas geométricas.
Prefactibilidad	Es la fase inicial de un proyecto en el que se desarrolla un diagnóstico detallado de las condiciones actuales, así como de los requerimientos y condicionantes preliminares. Es importante clarificar los objetivos estratégicos del proyecto y resaltar los temas normativos, de planificación, prediales, de urbanismo, de tránsito y de seguridad vial que condicionen el proyecto, pues de un levantamiento claro y preciso de los requerimientos depende el planeamiento alternativas y su posterior evaluación. El proceso de prefactibilidad inicia con la evaluación de tres o más alternativas llegando a una selección de la más viable, a nivel de ingeniería conceptual. No obstante, en los casos en los que la evaluación multicriterio arroje resultados muy similares y las diferencias a favor de una u otra alternativa no sean claras, podrán pasarse hasta dos alternativas a la fase de factibilidad. En contraposición, este proceso también podría arrojar un resultado de inviabilidad que lleve a descartar definitivamente el proyecto.
Ramal	División de la vía principal que permite conectarla con otro tipo de vía o elemento de una intersección.
Rampa peatonal	Plano inclinado dispuesto para salvar la diferencia de un nivel entre dos superficies, utilizado para que personas y/o ciclistas bajen o suban por él.
Rampa vehicular	Infraestructura que permite la comunicación de un nivel a otro.
Rasante	Es la proyección vertical del desarrollo del eje de la superficie de rodadura de la vía.
Rehabilitación de una vía	Se refiere a la recuperación de las condiciones de la vía de tal forma que se cumplan las especificaciones técnicas con las que fue diseñada inicialmente.

Rehabilitación parcial	Hace referencia exclusivamente al mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento. Dentro de estas intervenciones se pueden incluir proyectos de parcheo, recuperación de la capa de rodadura, reconstrucción sectorizada de la estructura de pavimento máximo hasta la primera capa granular de la estructura subyacente a la capa asfáltica, demarcación y remplazo de señales verticales en mal estado.
Rehabilitación total	Hace referencia a la recuperación de las condiciones iniciales del proyecto, en todas las dimensiones: geométrica, urbanística, arquitectónica y de redes. Incluye temas de reconformación de alineamientos geométricos, estudios de tránsito, retiro, redimensionamiento y reemplazo total de la estructura de pavimento, reconstrucción de andenes, reemplazo de mobiliario urbano y si se requiere, rediseño de redes.
Resaltos	Se trata de un elevamiento de la superficie del pavimento dispuesta transversalmente a la vía, es una de las medidas más restrictivas a la operación de los vehículos y por ende su uso debe ser rigurosamente evaluado con el fin de no generar efectos negativos.
Segregación vertical	Hace referencia a la jerarquización o prioridad que se da a cierto flujo de vehículos, personas o ciclousuarios realizando una disposición de niveles para cada flujo a través de diferentes tipos de infraestructuras.
Sendero peatonal	Zona destina al paso exclusivo de peatones, en intersecciones se delimita con líneas continuas.
Sección transversal	La sección transversal describe los elementos que compones una vía en un plano normal a su eje.
Separador	Elemento de la vía que sirve para dividir flujos contrarios o flujos del mismo sentido en vías que presentan varias calzadas y en las cuales se quieran establecer jerarquías en la operación de la vía.
Sistemas de contención vehicular	Son dispositivos que se instalan en las zonas laterales o centrales de una vía, cuya finalidad es retener, redireccionar los vehículos que quedan fuera de control y se salen de la vía, de manera que se reduzcan los daños y lesiones, tanto para los ocupantes como para otros usuarios de la vía, peatones, ciclistas u objetos situados en las cercanías.
Sobre ancho	Aumento de la sección transversal de una calzada en una curva, que tiene como finalidad mantener una distancia lateral segura y cómoda durante el tránsito de la curva o la maniobra de giro.
Subsistema vial	Forma parte de la malla vial junto con el subsistema de transporte (troncales destinadas a transporte público). El subsistema vial está formado por la malla vial arterial, intermedia y local.
Tachas	Dispositivos pegados sobre el pavimento o marcadores que pueden ser usados como elementos de guía, como complemento a la demarcación y en algunos casos como sustitución, con el fin de mejorar las condiciones de visibilidad de la señalización horizontal.
Tachones	Dispositivo que se coloca sobre el pavimento para encauzar el tránsito asi como para dividir diferentes tipos de tránsito.
Talud	Cualquier superficie inclinada frente a la horizontal de forma permanente.

Terraplén	Relleno de un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.
Torniquete	Son puntos de control en los accesos a las estaciones de transporte.
Tránsito	Relativo a la movilización de vehículos, peatones o productos.
Tráfico	Se refiere a la cantidad de vehículos, peatones o productos que pasan a través de un punto específico durante un periodo determinado de tiempo.
Tráfico calmado	Son medidas que se establecen con el fin de disminuir o calmar las velocidades vehiculares a través de un corredor, una zona o una red vial.
Trébol	Intersecciones de cuatro ramales en las que se ha hecho continúo un giro a la izquierda mediante una vía de enlace tipo oreja. Los tréboles dan prioridad a los movimientos directos y permiten realizar los movimientos de giro izquierdo y derecho con una condición de parada que genera puntos de conflicto tipo divergencia, convergencia y/o entrecruzamiento. Pueden ser parciales cuando existen impedimentos para utilizar alguno de los cuadrantes de la intersección, o totales cuando es factible desarrollar las cuatro orejas.
Trompeta	Intersección de tres ramales (Tipo "Te"), en la que los giros a la derecha y a la izquierda se resuelven por medio de ramales directos, semidirectos y orejas. Es recomendable para intersecciones ortogonales y oblicuas.
Turbulencia	Cambios espacio-temporales que ocurren de forma impredecible en la velocidad y posición de un vehículo originados por otros vehículos que obstaculizan el libre tránsito.
Urbanismo	Ciencia y técnica que estudia los problemas y necesidades derivados de los asentamientos humanos.
Usuarios con síndrome	Por el estrés y caos de la ciudad algunas personas sufren de pánico o vértigo, razón por la cual deben ser tenidos en cuenta en el desarrollo de los proyectos.
Usuarios en sillas de ruedas	Son quienes requieren en todo momento el uso de silla de ruedas para sus movimientos o actividades; su mayor dificultad se presenta cuando hay cambios de nivel o peligro por volcamiento, y algunas veces cuando los pasos son estrechos imposibilitando la transitividad y el giro.
Usuarios ambulantes	Son usuarios no motorizados que ejecutan movimientos con dificultad y ayudados por aparatos ortopédicos, bastones o similares.
Usuarios No motorizados	Todo usuario que no hace uso de un vehículo propulsado por motor para desplazarse: dentro de este grupo se encuentran los peatones, ciclousuarios, personas en condiciones de discapacidad y demás.
Usuarios motorizados	Todo usuario que se transporte haciendo uso de vehículos propulsados por un motor.
Usuarios sensoriales	Son las personas que tienen dificultad por percepción, debido a la limitación sensorial auditiva o visual. Su mayor dificultad se presenta con la identificación de espacios u objetos, obtención de información sonora, obtención de información escrita, determinación de direcciones e itinerarios.
Velocidad de diseño	Esta velocidad corresponde a la máxima velocidad que un vehículo puede mantener en un determinado tramo de una vía, circulando en condiciones de seguridad cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables para garantizar que las características de diseño prevalezcan.

Velocidad específica	Es la máxima velocidad que un vehículo puede mantener a lo largo del elemento considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando no hay limitaciones de infraestructura, tránsito, ni clima que impidan desarrollar esta velocidad siendo las características geométricas del elemento las únicas que pueden imponer limitaciones.
Volumen	Número de vehículos que cruzan un punto durante determinado lapso de tiempo.
Vías Arterias Convencionales-VAC	Vías arteriales, regionales, primarias y secundarias existentes con circulación interrumpida por intersecciones a nivel y control parcial o ausente de accesos. Generalmente con proyecciones hacia la conformación de VRU.
Vía arterial de integración regional	En zona urbana conecta el sistema vial urbano con el sistema vial regional permitiendo viajes regionales y nacionales. En sector urbano aporta a la movilidad.
Vía Arterial Intermedia VAI	Aporta a la permeabilidad de la red y a la distribución del tráfico a escala zonal.
Vía local	Permite el acceso directo a los destinos finales del tráfico local.
Vía Arterial Principal- VAP	Aporta a la movilidad de viajes de larga distancia interurbanos.
Vía Arterial Secundaria - VAS	Aporta a la permeabilidad de la red y la distribución del tráfico a escala zonal.
Vías rápidas Urbanas-VRU	Vías arteriales de múltiples calzadas, con control de accesos y enlaces parcial. Estas vías suelen constituir la primera fase de una futura AU.
Zonas de reserva vial	Zonas destinadas a futuras ampliaciones o mejoramientos de las vías e intersecciones.
Zonas atractoras de viajes	Son aquellas zonas que por su actividad económica generan atracción de gran cantidad de personas o automóviles.
Zonas generadoras de viajes	Son aquellas zonas que producen una gran cantidad de viajes y atracción de gran cantidad de personas o automóviles.

SIGLAS

POT	Plan de Ordenamiento Territorial
EEP	Estructura Ecológica Principal
DDI	Diverging Diamond Interchange
EFS	Estructura Funcional y de Servicios
ESE	Estructura Socio Económica y Espacial
MDT	Modelos Digitales del Terreno
AU	Autopistas Urbanas
VRU	Vías Rápidas Urbanas
VAC	Vías Arterias Convencionales
VAI	Vías Arterias Intermedias
BRT	Bus de Tránsito Rápido (Bus Rapid Transit)
PI	Punto de Inflexión
A	Diferencia algebraica de pendientes verticales
PT	Punto de terminación del empalme
PC	Punto de inicio del empalme
TCE	Concatenación Tangente Circular Espiral
ECT	Concatenación Espiral Circular Tangente
ECCE	Concatenación Espiral Circular Circular Espiral
EE	Concatenación Espiral Espiral
ECE	Concatenación Espiral Circular Espiral
CC	Concatenación Circular Compuesta
Le	Longitud de la curva espiral
Lc	Longitud de la curva circular
ET	Punto de empalme entre la espiral y la recta
CE	Punto de empalme entre el círculo y la espiral
EC	Punto de empalme entre la espiral y el circulo
TE	Punto de empalme entre la recta y la espiral
PCV	Punto de comienzo de Curva Vertical
PIV	Punto de intersección de las tangentes verticales
D_p	Distancia de parada
PTV	Punto de terminación de la Curva Vertical
ASV	Auditoria de Seguridad Vial
NdS	Nivel de Servicio

Esta Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C. se terminó de
imprimir en los talleres de la Universidad Nacional de Colombia
en la fecha xxx con un tiraje de xx ejemplares.
Se utilizaron en su realización las fuentes Rockwell y News Gothic y se
imprimió en papel xxx.