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

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

CAF 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

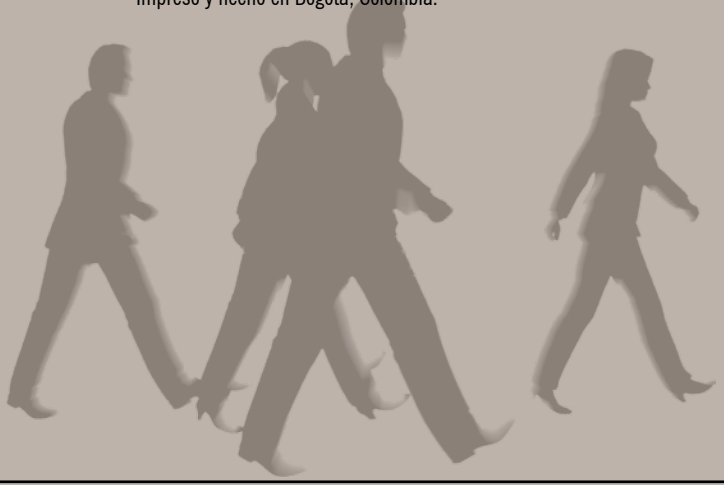
ING. HÉCTOR ALEJANDRO PUENTES ROJAS
INGENIERO DE APOYO

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

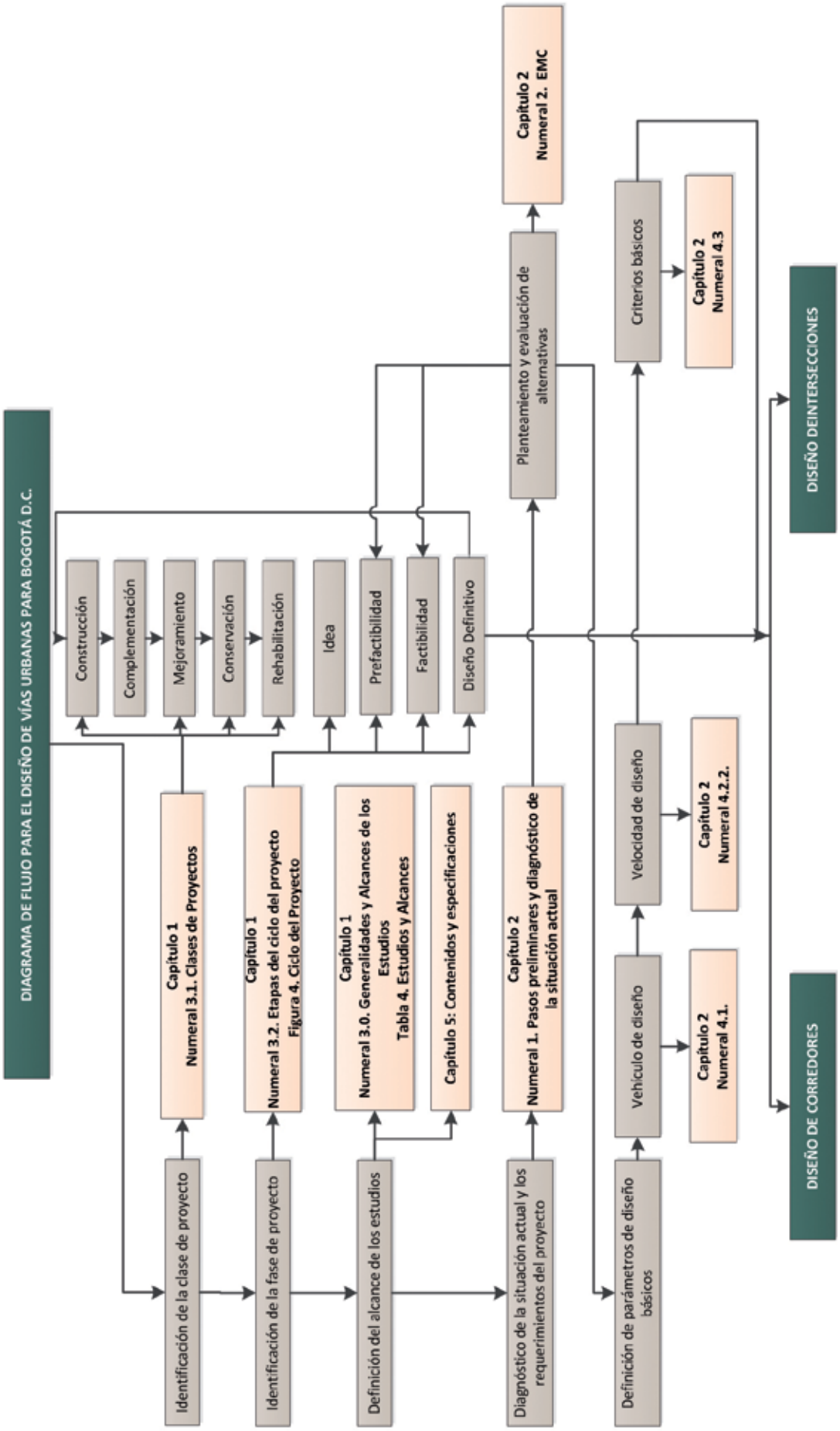
Esta Guía se organiza secuencialmente, en función del proceso de diseño y el tipo de proyecto a diseñar (corredor vial y/ o intersección a nivel o intersección a desnivel). Los temas se presentan en capítulos y subcapítulos independientes integrados mediante un mapa de ruta o diagrama de flujo que organiza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

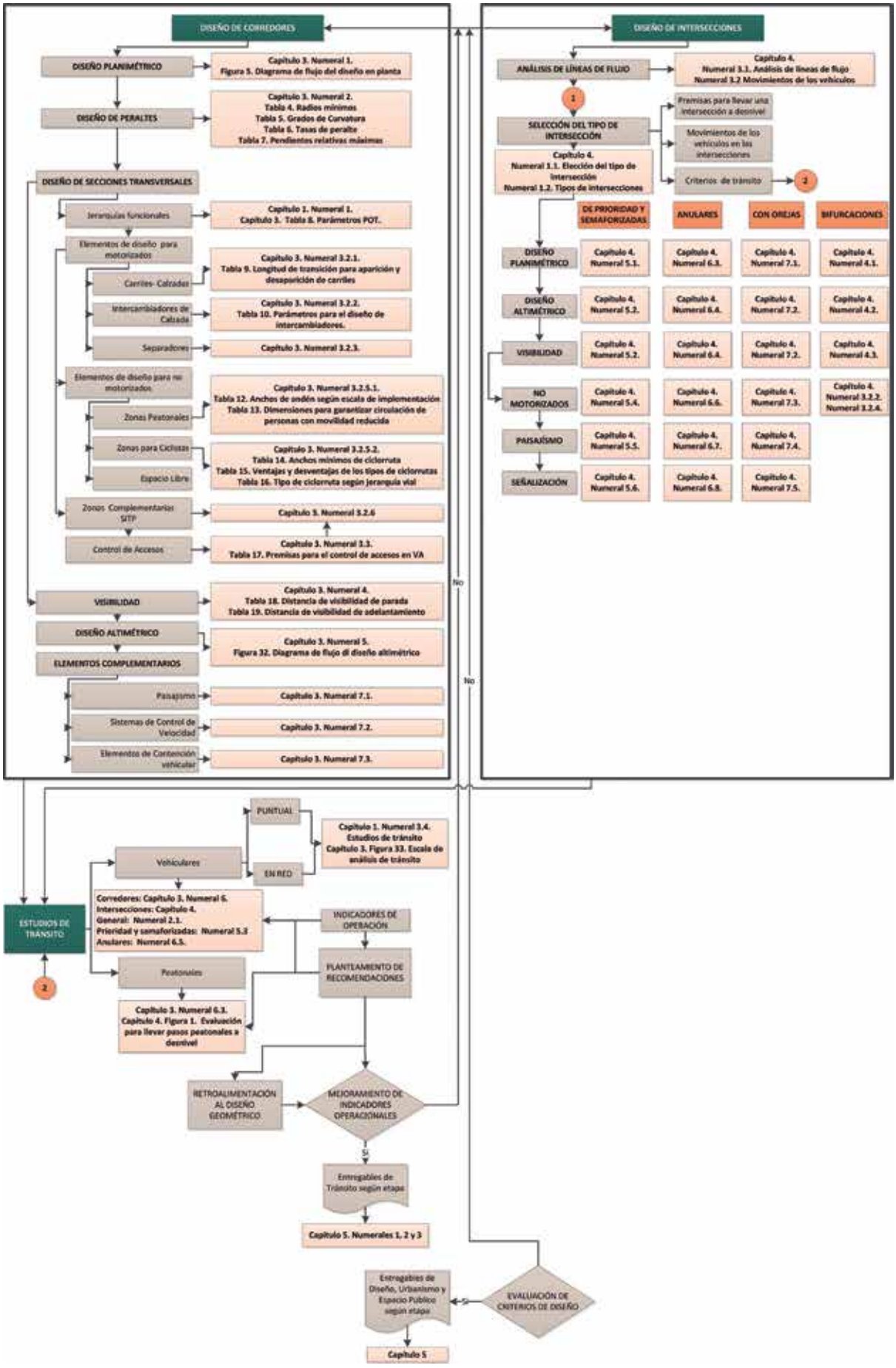
Puede, por tanto, utilizarse de variadas maneras, entre ellas, dirigiéndose directamente al numeral que contiene el problema concreto de diseño que se pretende resolver y que se visualiza desde el diagrama de flujo, o siguiendo el proceso completo desde el inicio hasta el final del diagrama.

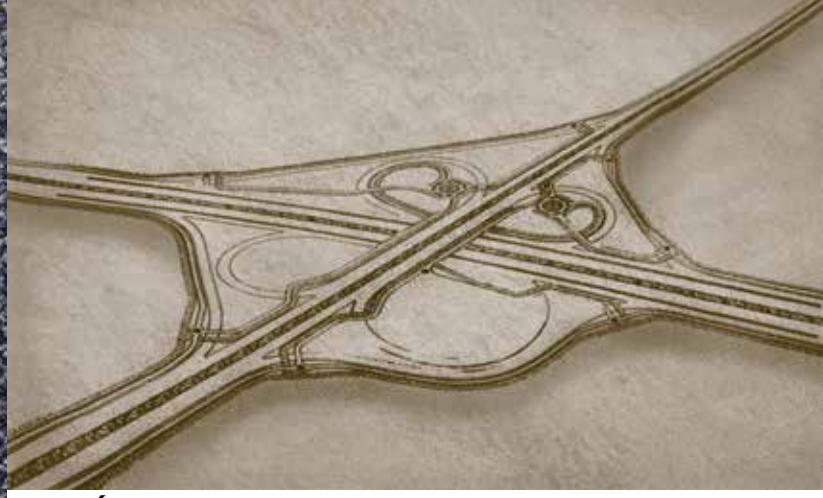
Básicamente la Guía se enfocará en los siguientes subcapítulos:

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.
Identificación de la clase de proyecto
Identificación de la fase de proyecto
Definición del alcance de los estudios
Diagnóstico de la situación actual y los requerimientos del proyecto
Definición de parámetros de diseño básicos
Capítulo 1 Numeral 3.1. Clases de Proyectos
Capítulo 1 Numeral 3.2. Etapas del ciclo del proyecto Figura 4. Ciclo del Proyecto
Capítulo 1 Numeral 3.0. Generalidades y Alcances de los Estudios Tabla 4. Estudios y Alcances
Capítulo 5: Contenidos y especificaciones
Capítulo 2 Numeral 1. Pasos preliminares y diagnóstico de la situación actual
Construcción
Complementación
Mejoramiento
Conservación
Rehabilitación
Idea
Prefactibilidad
Factibilidad
Diseño Definitivo
Capítulo 2 Numeral 2. EMC
Planteamiento y evaluación de alternativas
Vehículo de diseño
Velocidad de diseño
Capítulo 2 Numeral 4.1.
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 2. 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
Zonas Peatonales
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 para Ciclistas
Espacio Libre
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
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 di 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.
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.
PAISAJISMO
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
No
PUNTUAL
EN RED
Capítulo 1. Numeral 3.4.
Estudios de tránsito
Capítulo 3. Figura 33. Escala de análisis de tránsito
Vehículares
ESTUDIOS DE TRANSITO
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
PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES
Peatonales
2
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
EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO
Si
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:

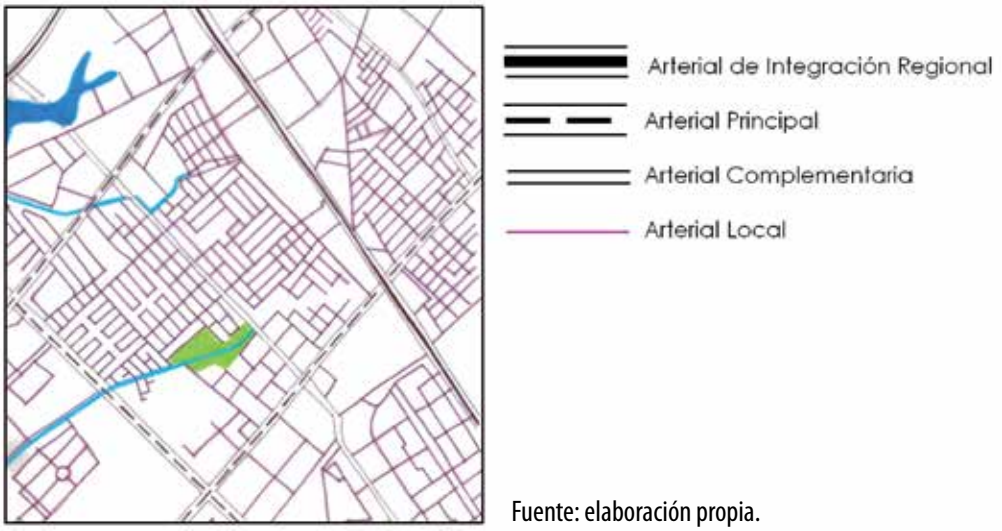


VÍA URBANA

- **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.

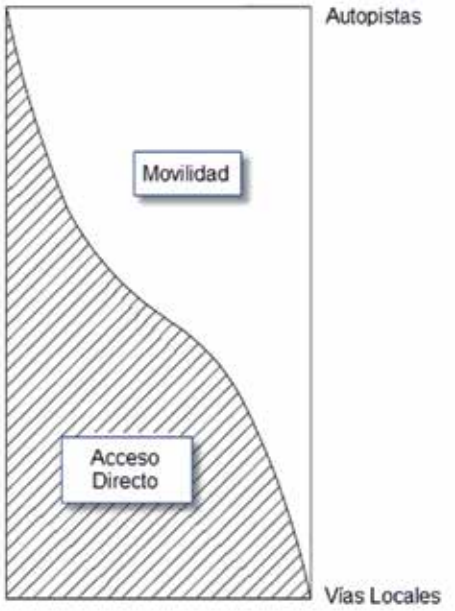
Figura 1. Ilustración esquemática de un tipo de red vial urbana



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.

R

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.

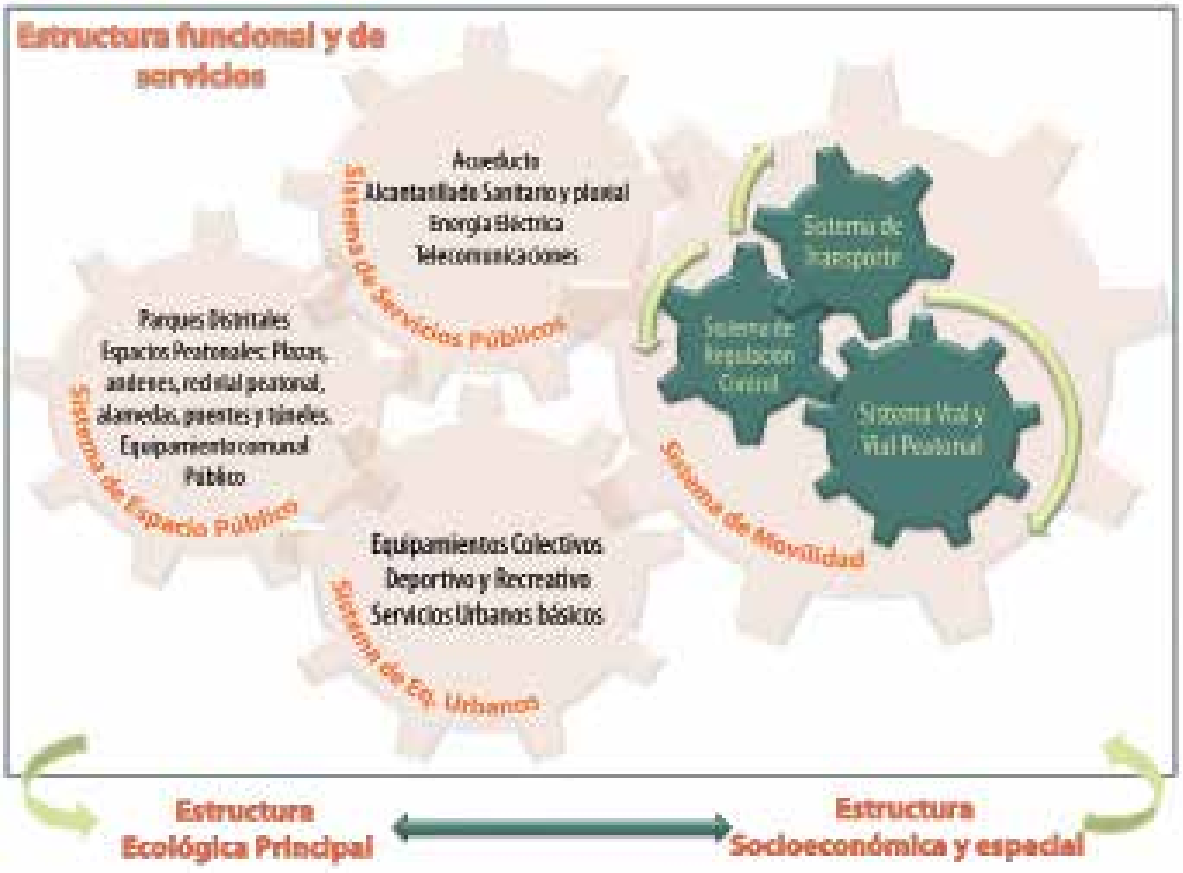
Cabe mencionar que el sistema de movilidad está compuesto por los subsistemas: vial, de transporte y de regulación y control del tráfico y vial peatonal (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2004). Es así como el diseño de la infraestructura vial no se debe concentrar exclusivamente en las cuestiones asociadas 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

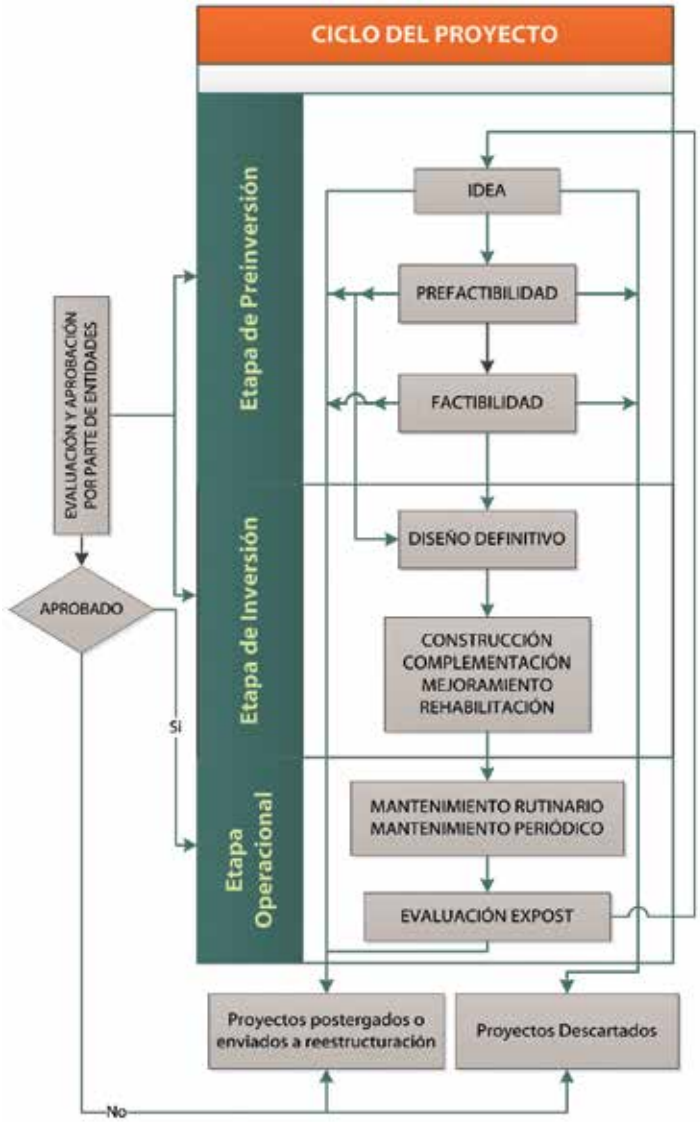
Todo proyecto de ingeniería debe contemplar en su desarrollo una serie de etapas sucesivas sobre las cuales se van detallando las características, alcance, tipo y demás aspectos que determinen la alternativa más viable y acorde a la necesidad o problema que se quiera resolver.

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.

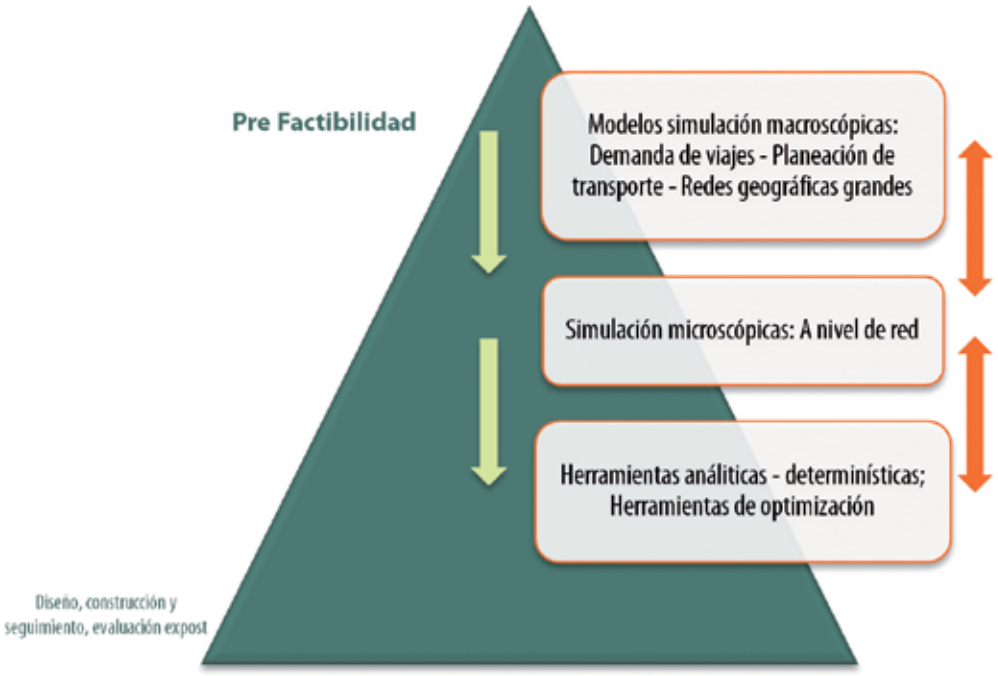
3.5 ESTUDIOS DE TRANSPORTE

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 Latinoamericano 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

Probabilidad	Impacto	Bajo	Medio	Alto
	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°

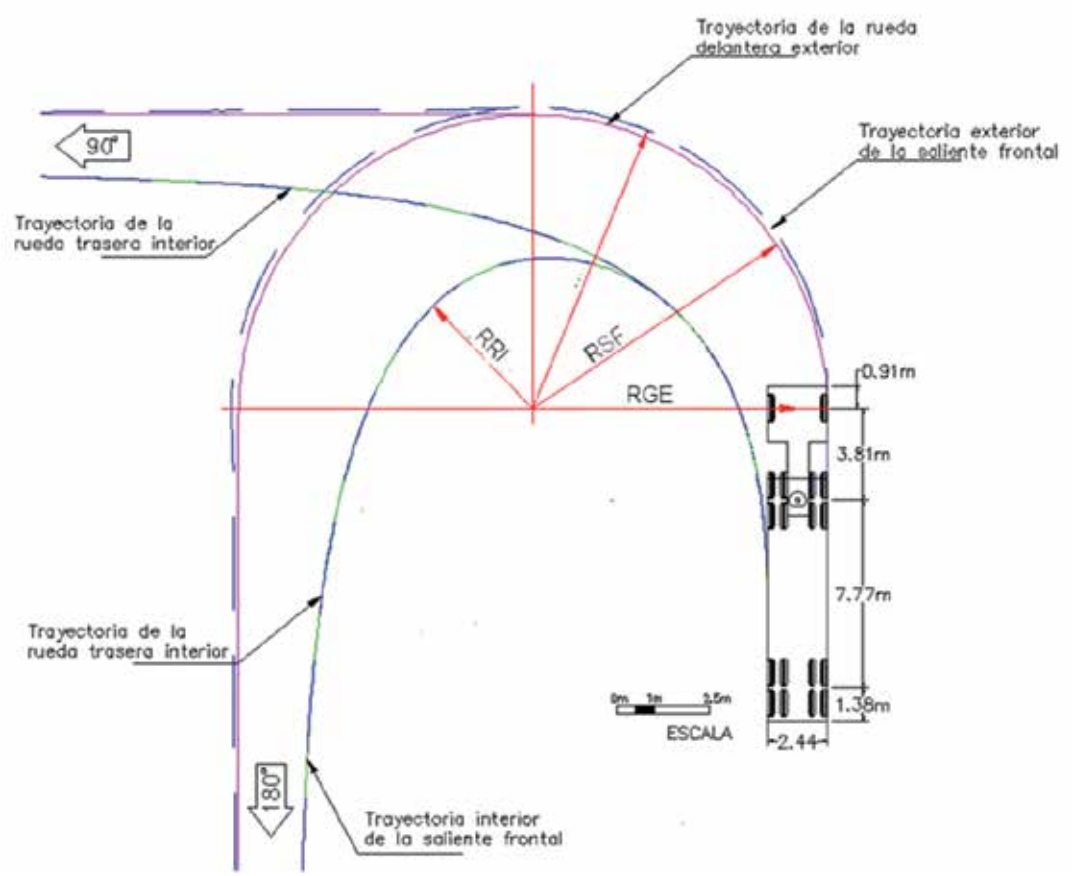
*Dimensión entre primer y segundo eje tándem.

** 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:

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

$$A = \sqrt[2]{L \quad + R}$$

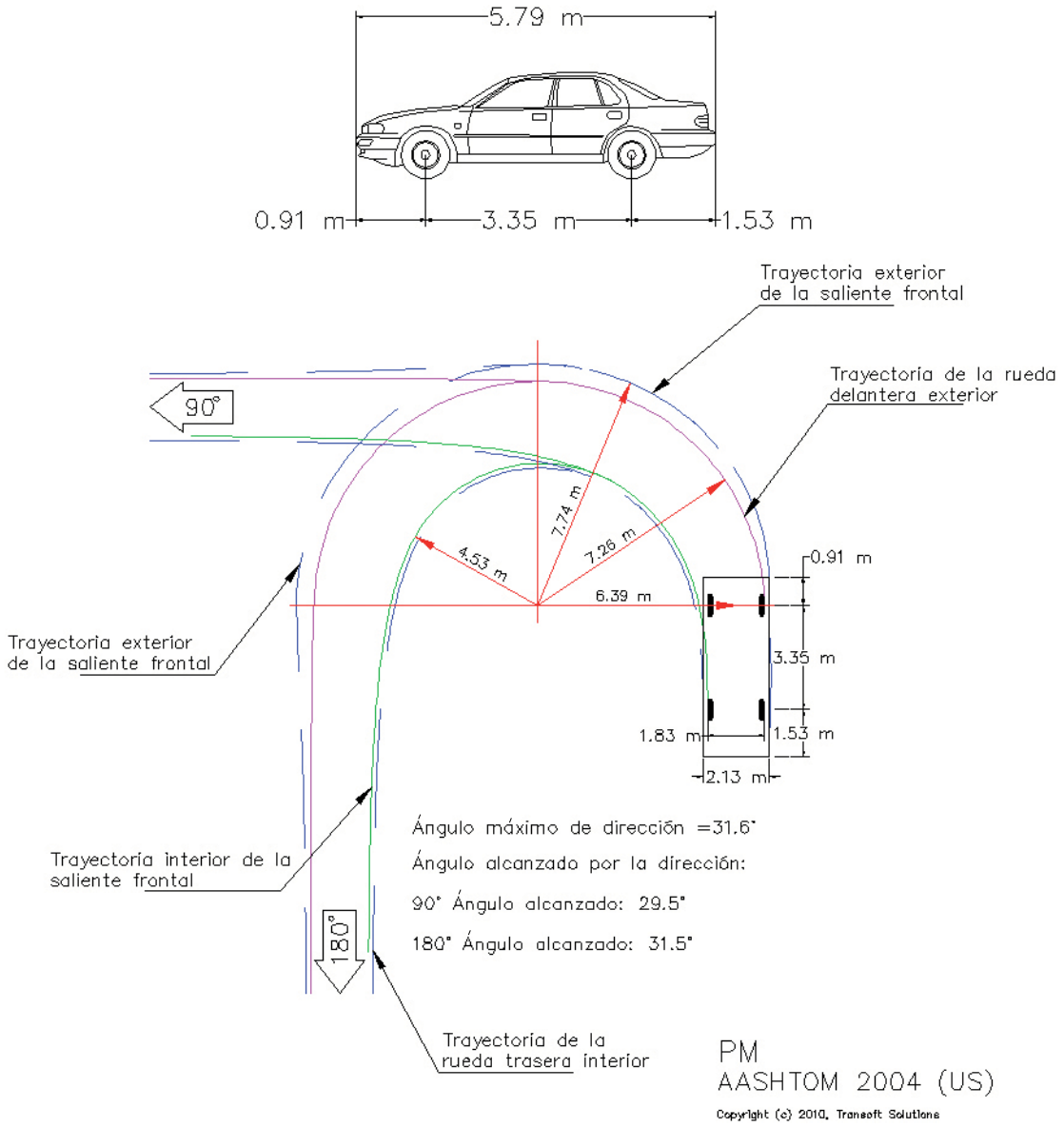
$$Z = \frac{0.1V}{\sqrt{R}}$$

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.

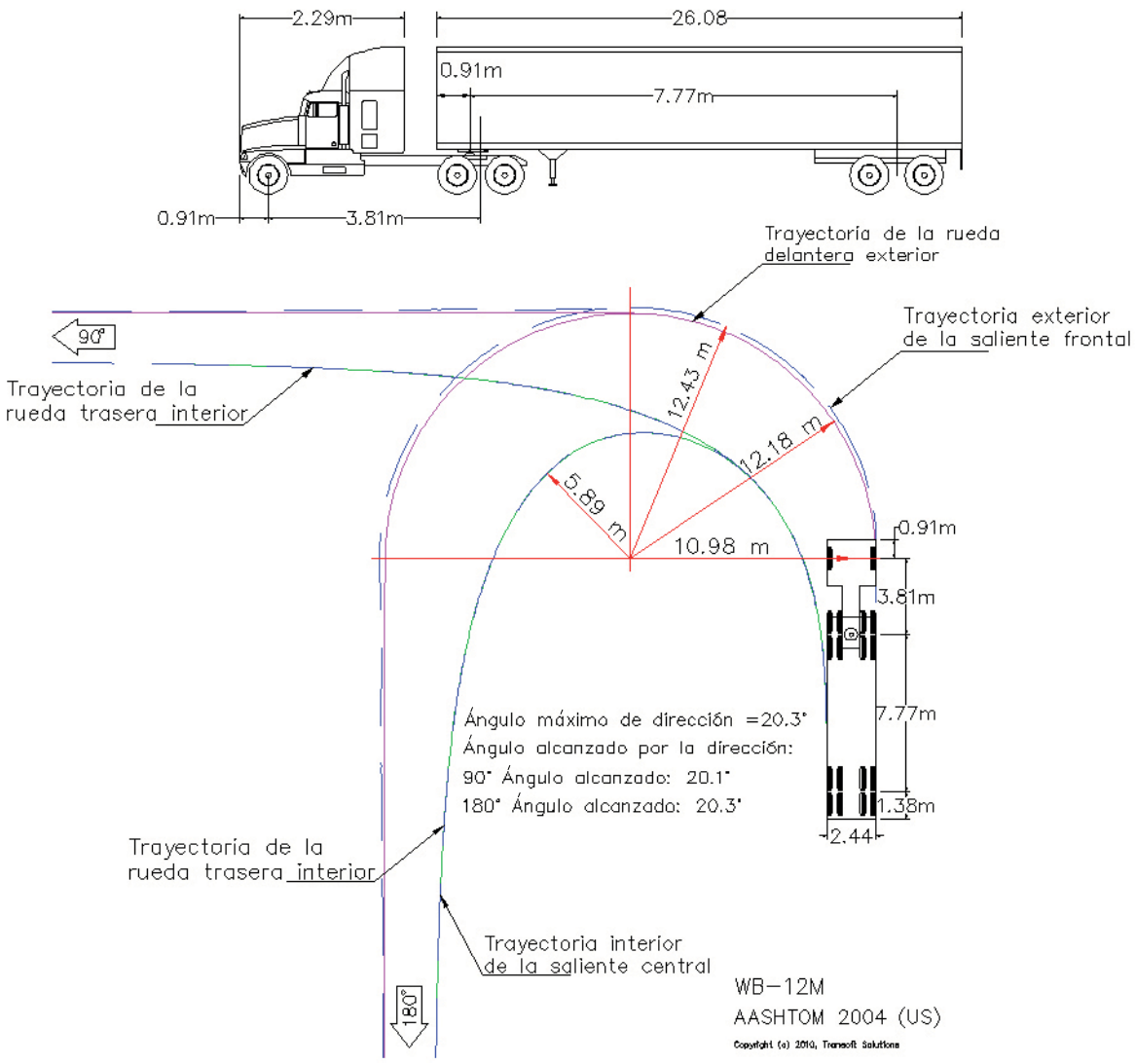
A continuación se presentan las plantillas modeladas con Autoturn 7.0, las cuales pueden dar una idea al diseñador de la geometría a considerar para giros a 90º en esquinas o giros de 180º en retornos. Estos esquemas contienen información relevante del vehículo como su ancho, largo y medidas entre ejes,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

Figura 4. Trayectoria vehículo PM-5.79



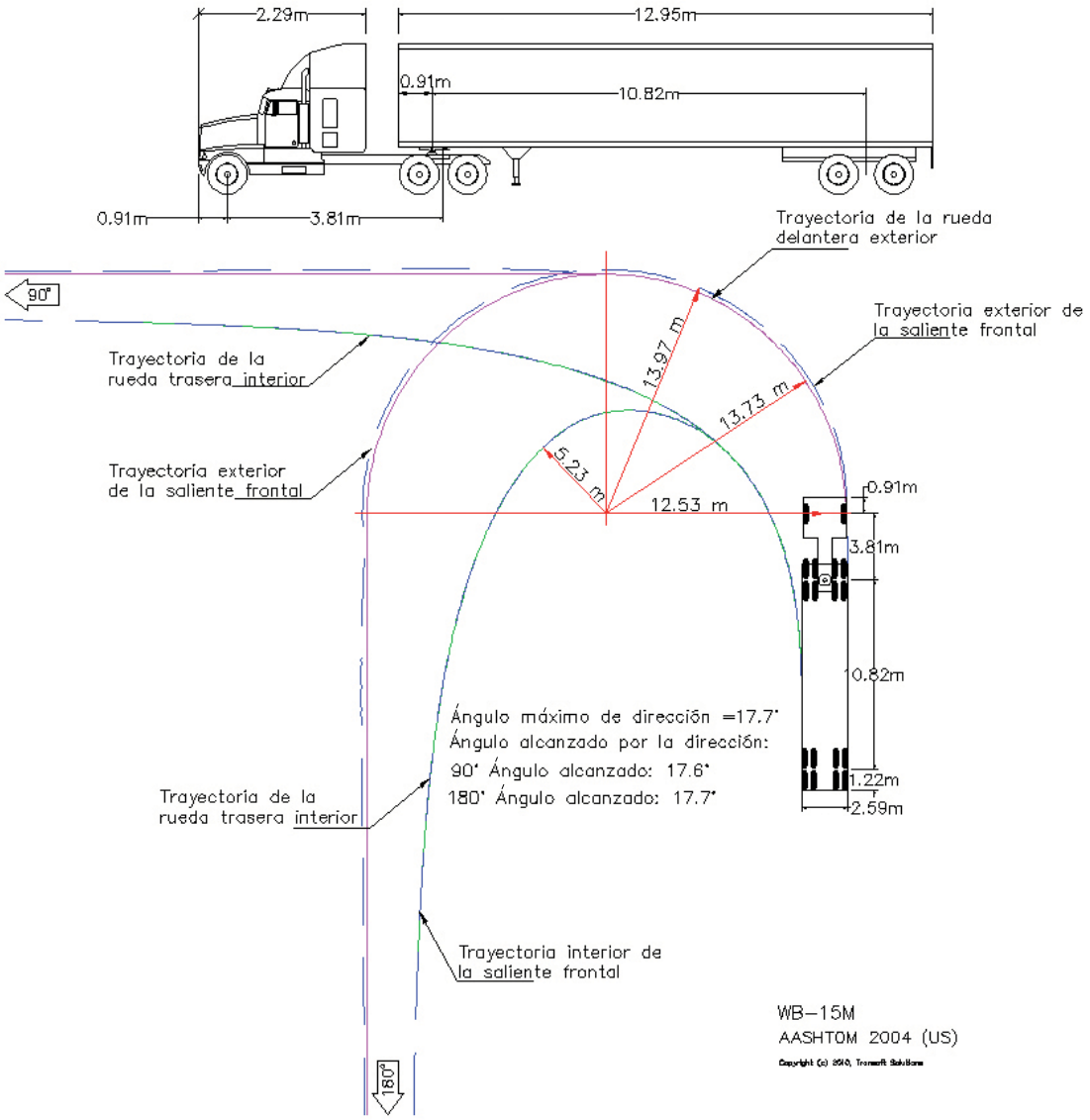
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 5. Trayectoria vehículo WB-12M



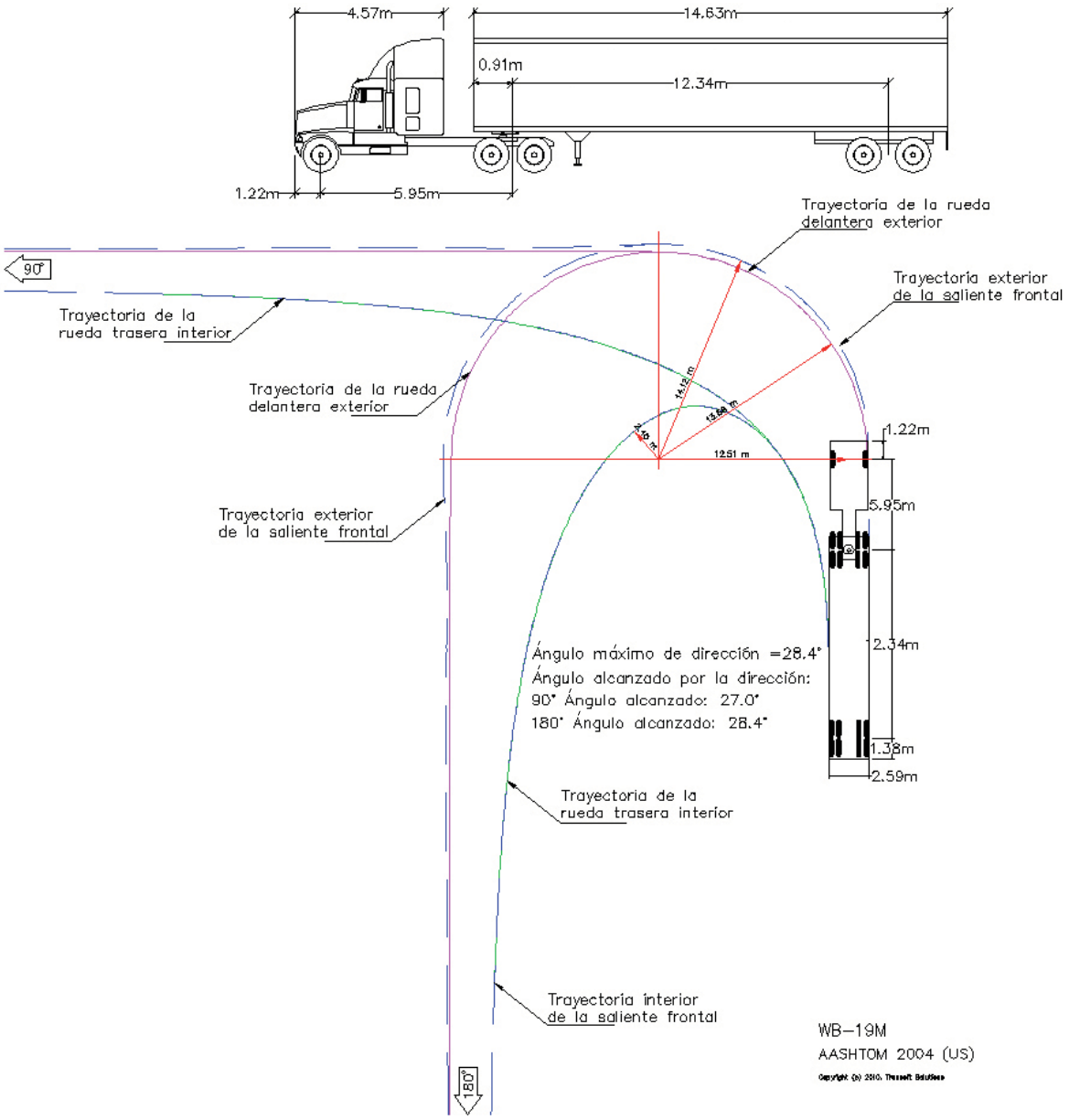
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 6. Trayectoria vehículo WB-15M



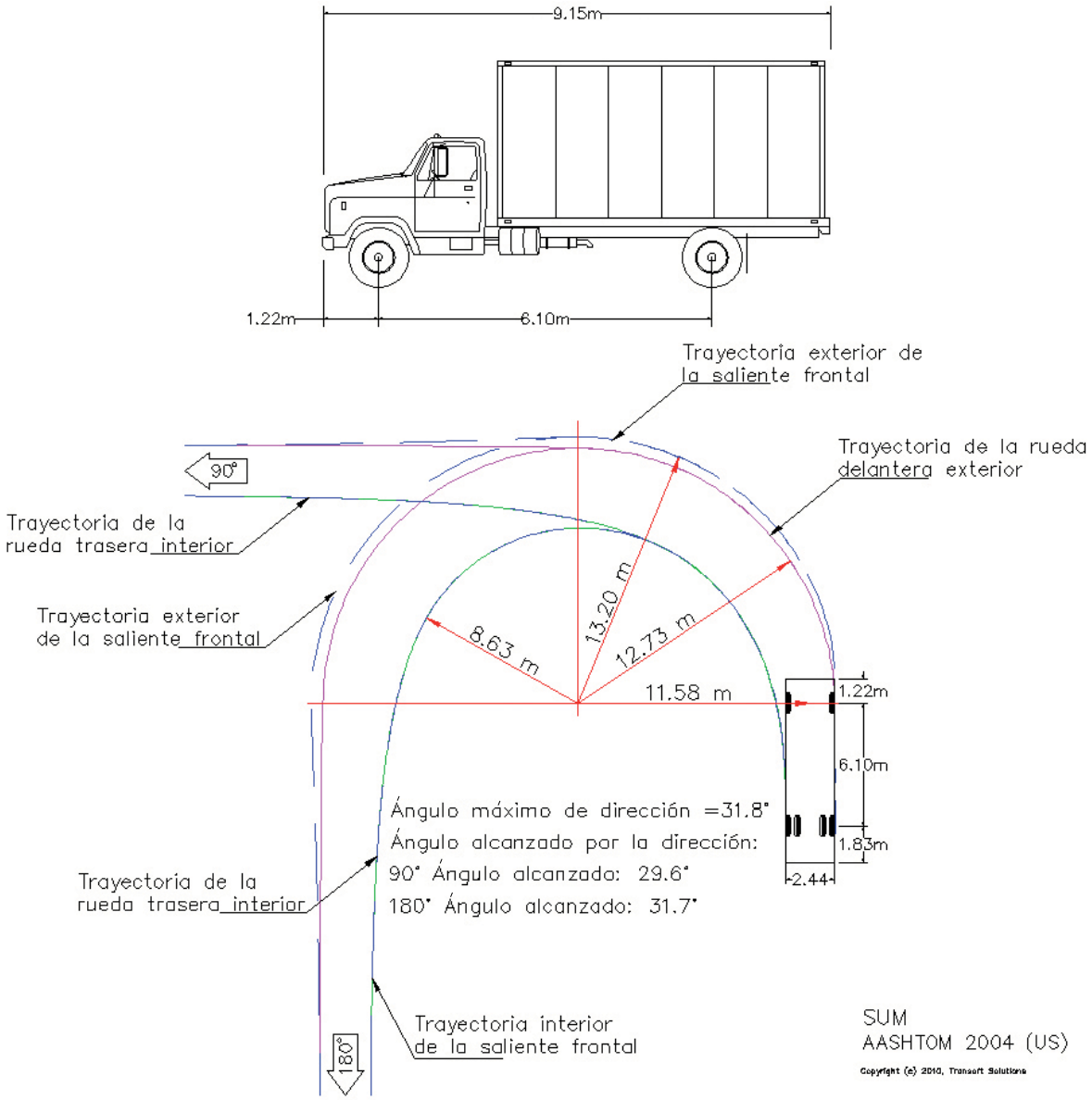
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 7. Trayectoria vehículo WB-19M



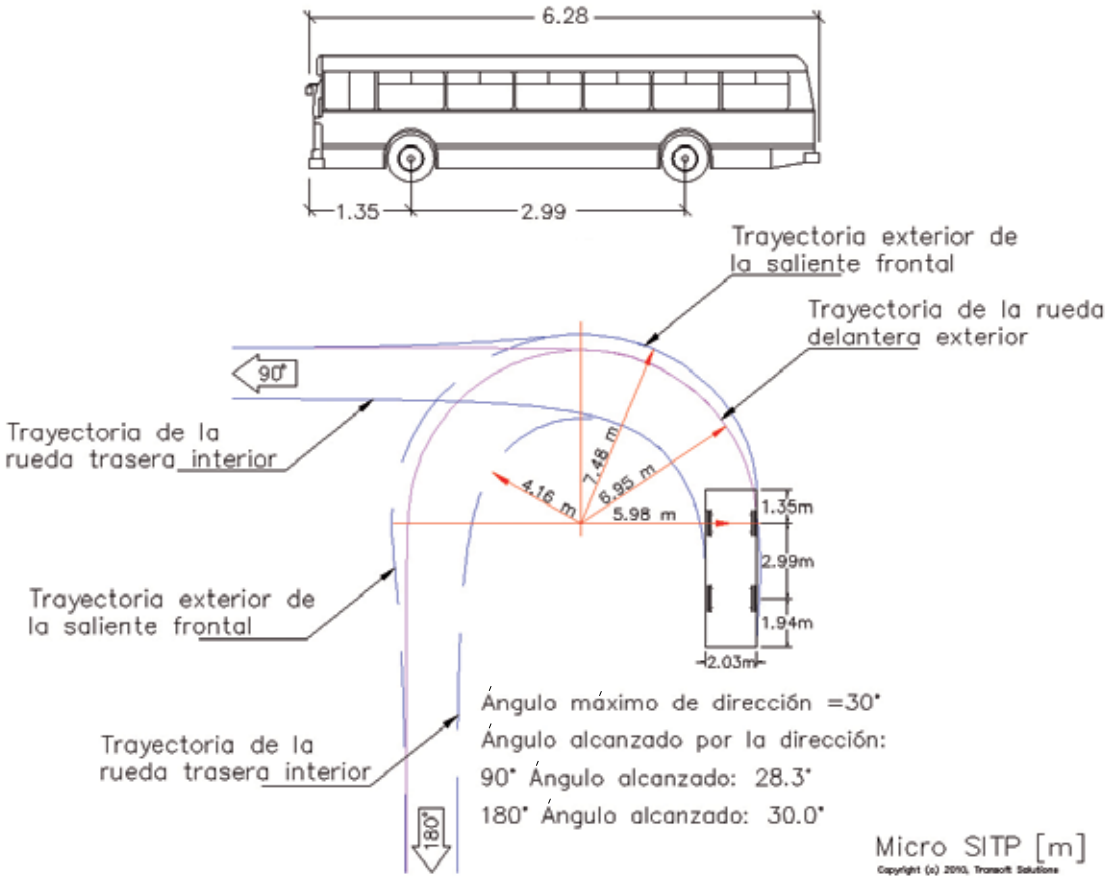
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 8. Trayectoria vehículo SUM (C2)



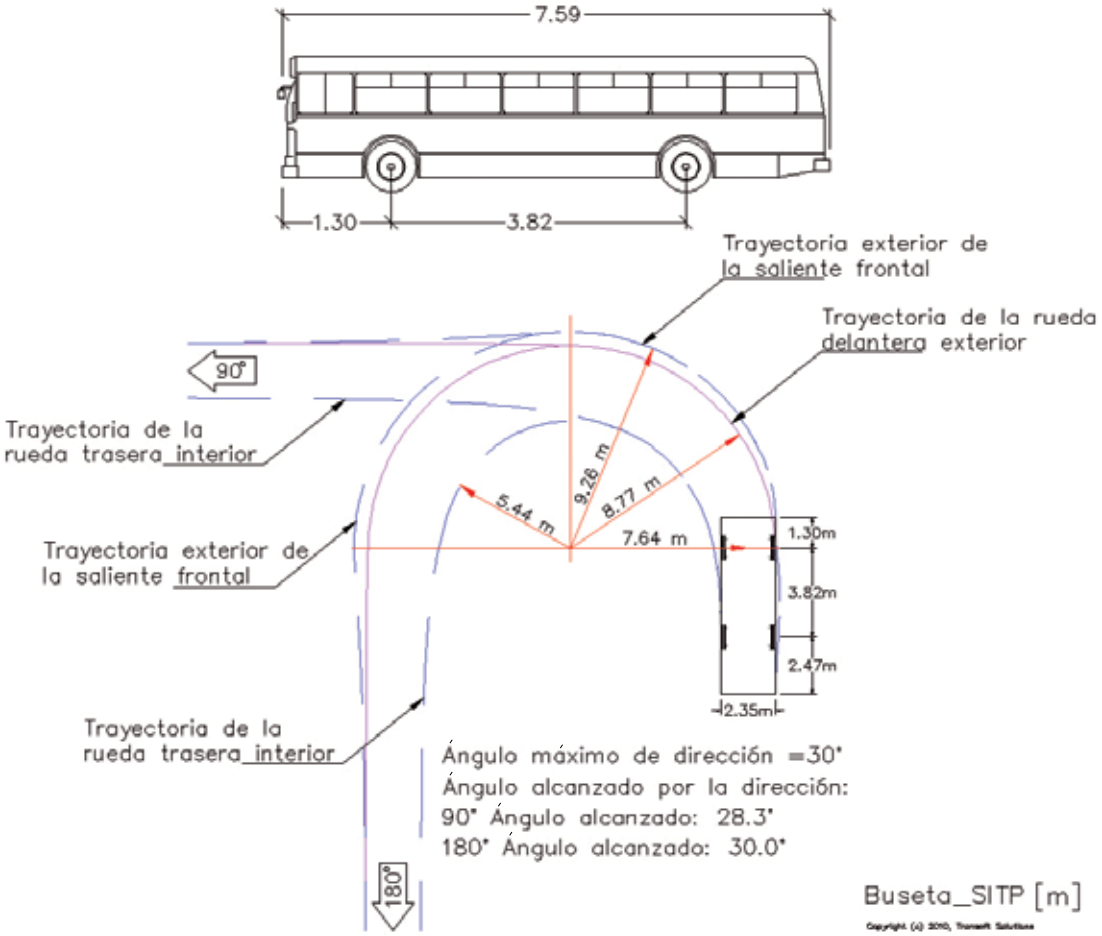
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 9. Trayectoria vehículo MICROBUS – 19 PAS -6.28



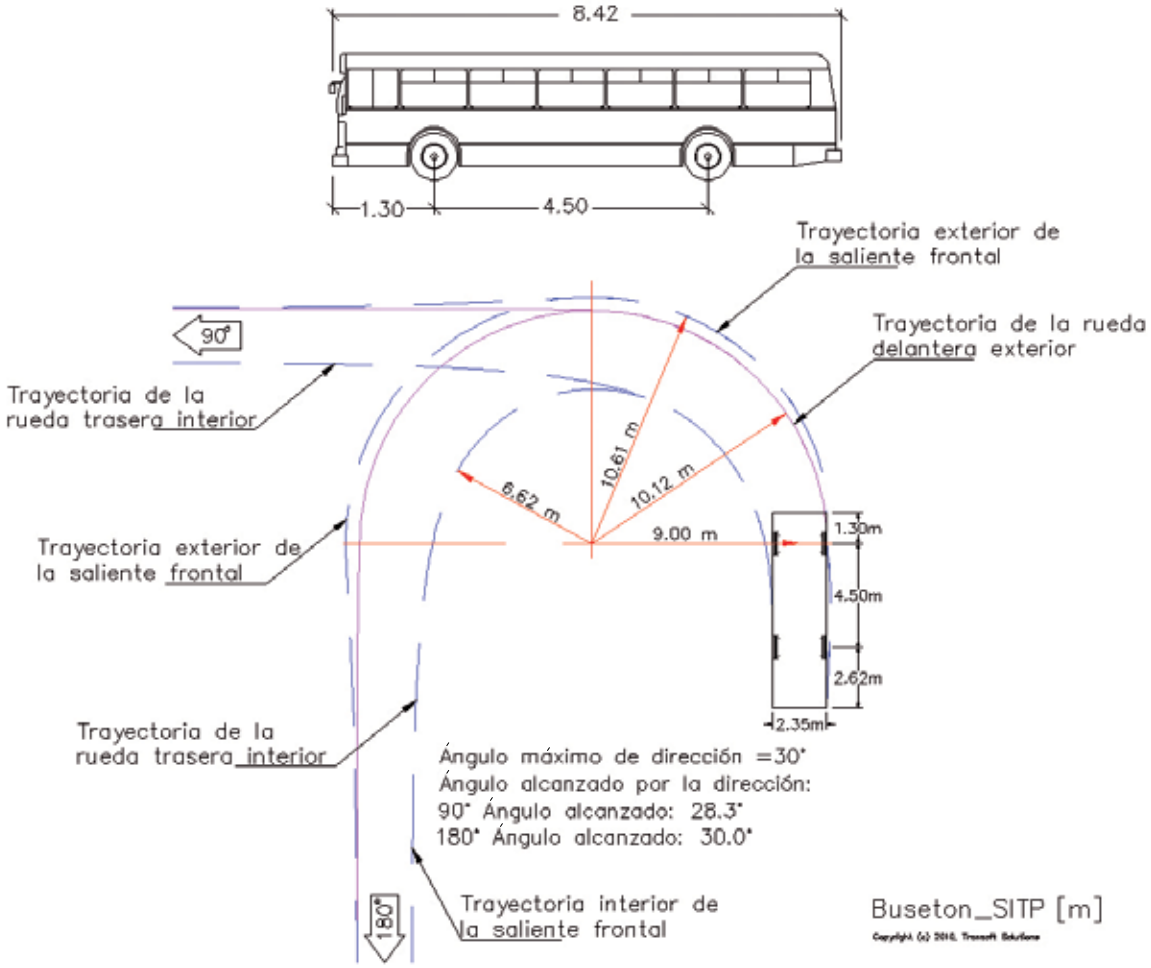
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 10. Trayectoria vehículo BUSETA – 40 PAS -7.59



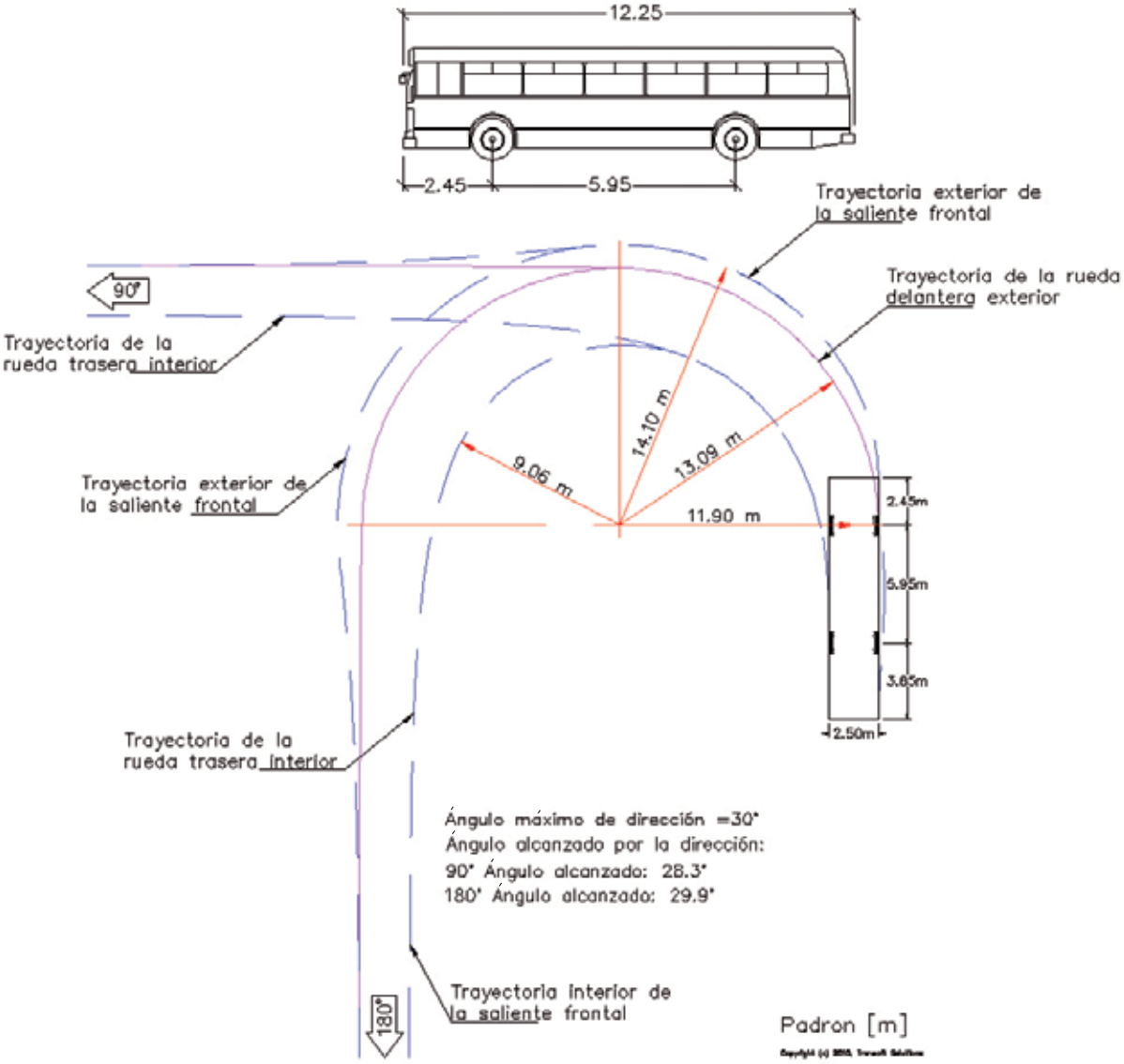
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 11. Trayectoria vehículo BUSETÓN – 50 PAS -8.42



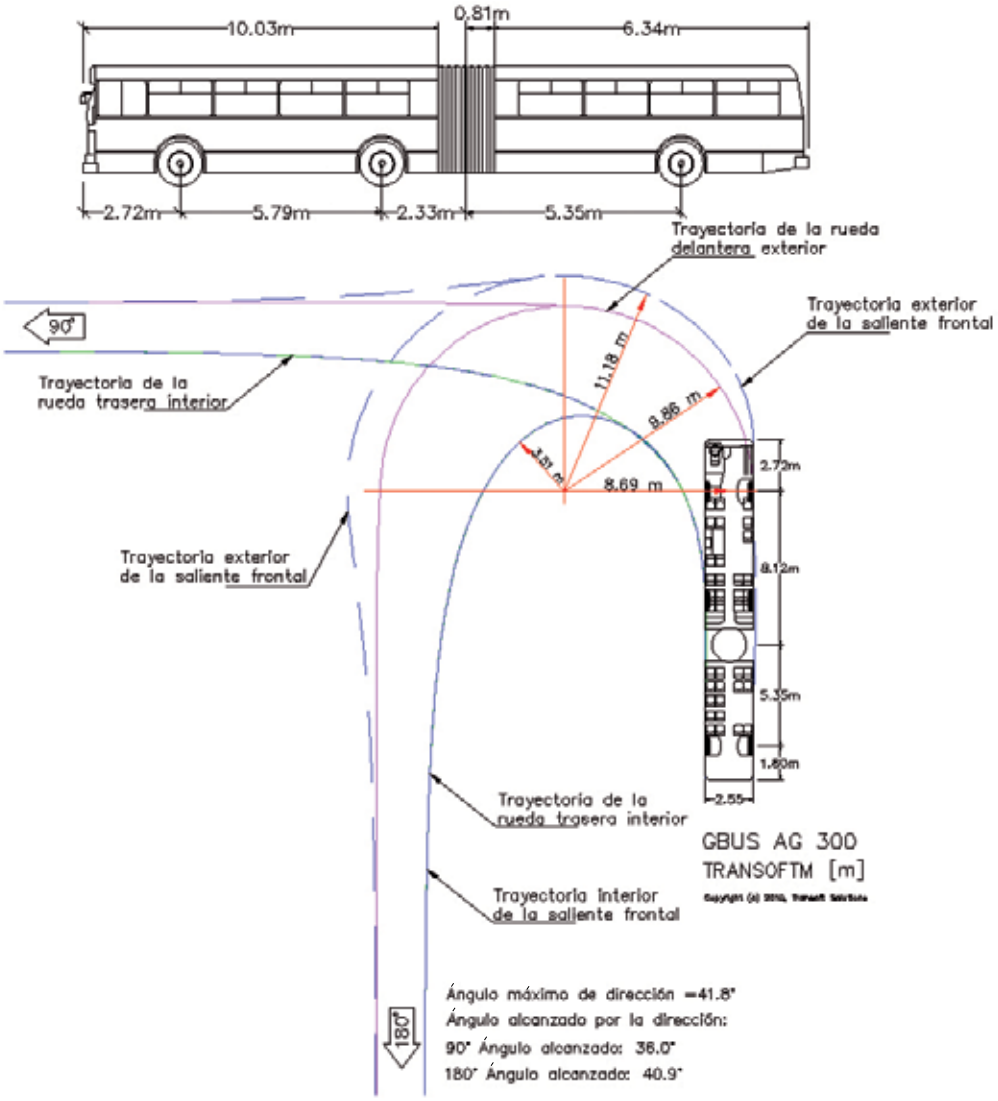
Fuente: Autoturn 7.0

Figura 12. Trayectoria vehículo PADRÓN – 80 PAS -12.25



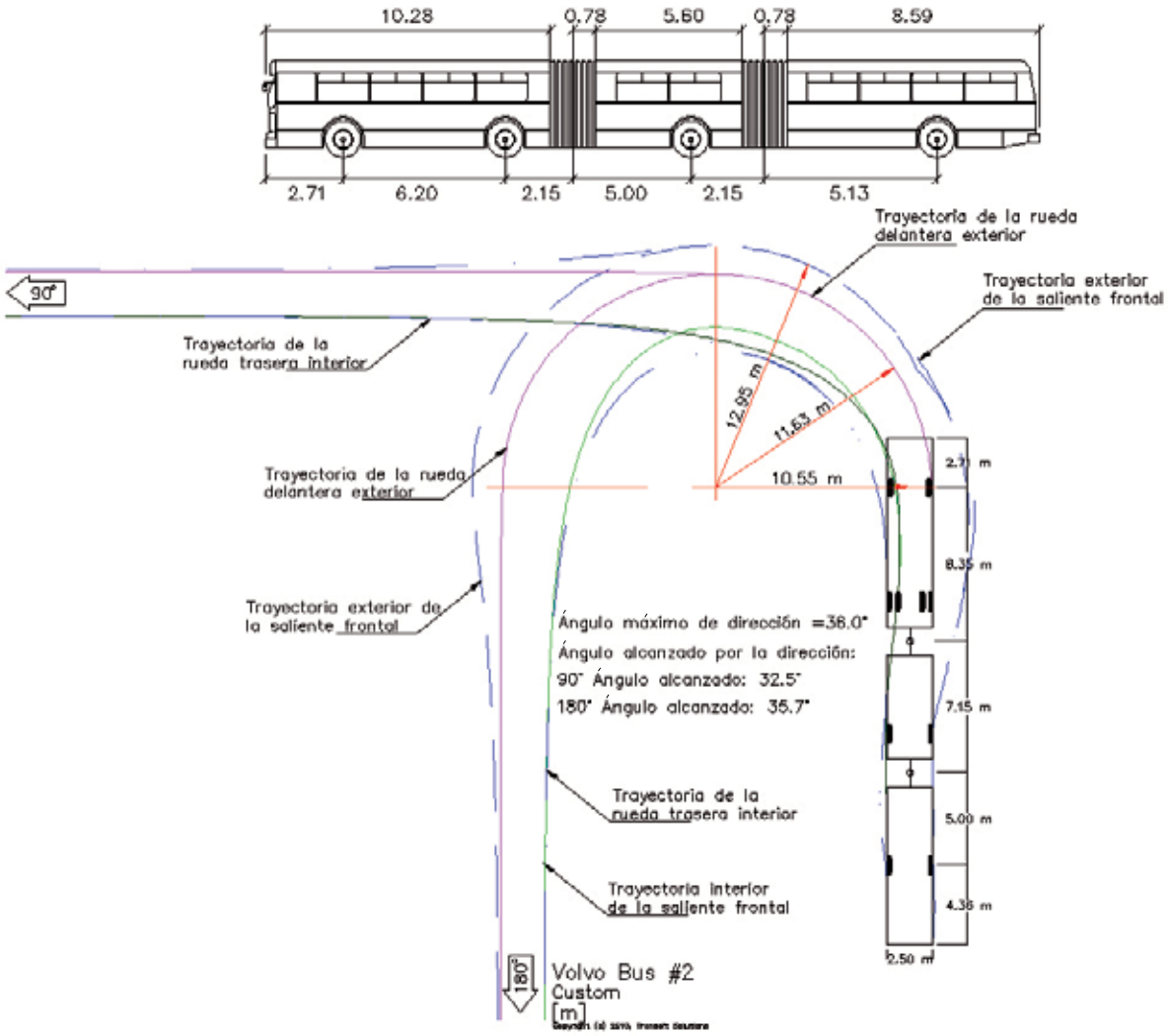
Fuente: Autoturn 7.0

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:

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

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).

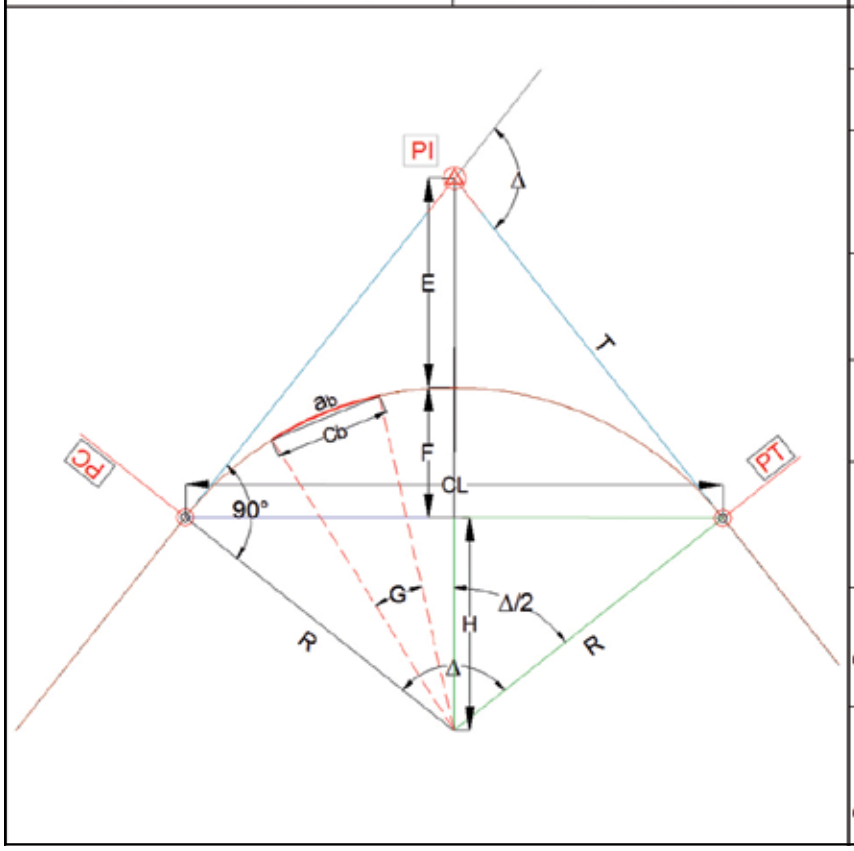
En el primer caso cuando se une un alineamiento recto con uno curvo por medio de una clotoide, ésta recibe el nombre de clotoide simple, ahora, si la curva circular entre la clotoide de entrada y la clotoide de salida se elimina, se obtendría una clotoide de vértice o una concatenación E-E.

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.

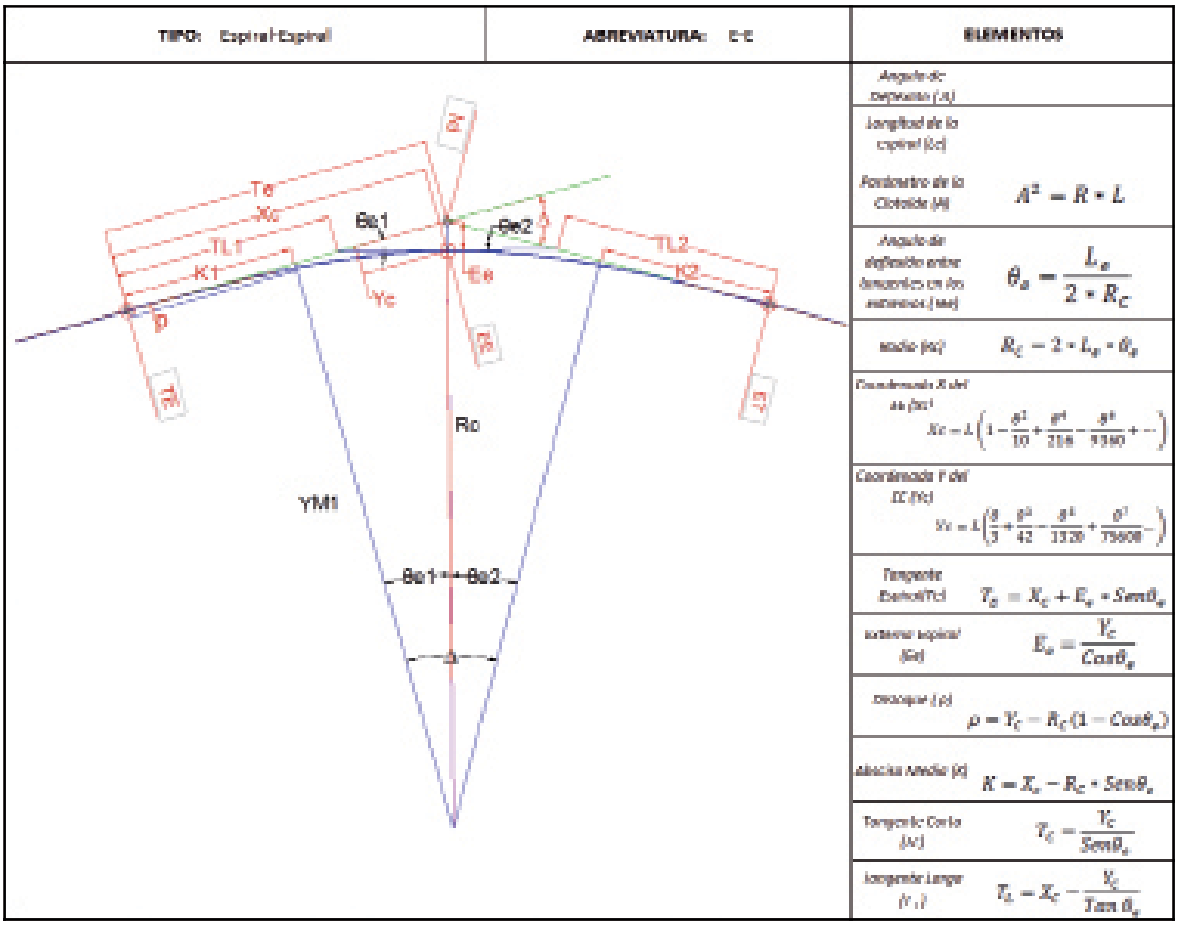
En las figuras presentadas a continuación, se resumen los elementos geométricos más utilizados en la definición y diseño de los tipos de concatenaciones principales:

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) $G = 2 * Sen^{-1}\frac{CC}{2R}$
		Radio utilizando Grado Curvatura (Gc) $R = \frac{180 * a_b}{\pi * G_c}$ $R = \frac{C_b}{2 * sen(\frac{G_c}{2})}$

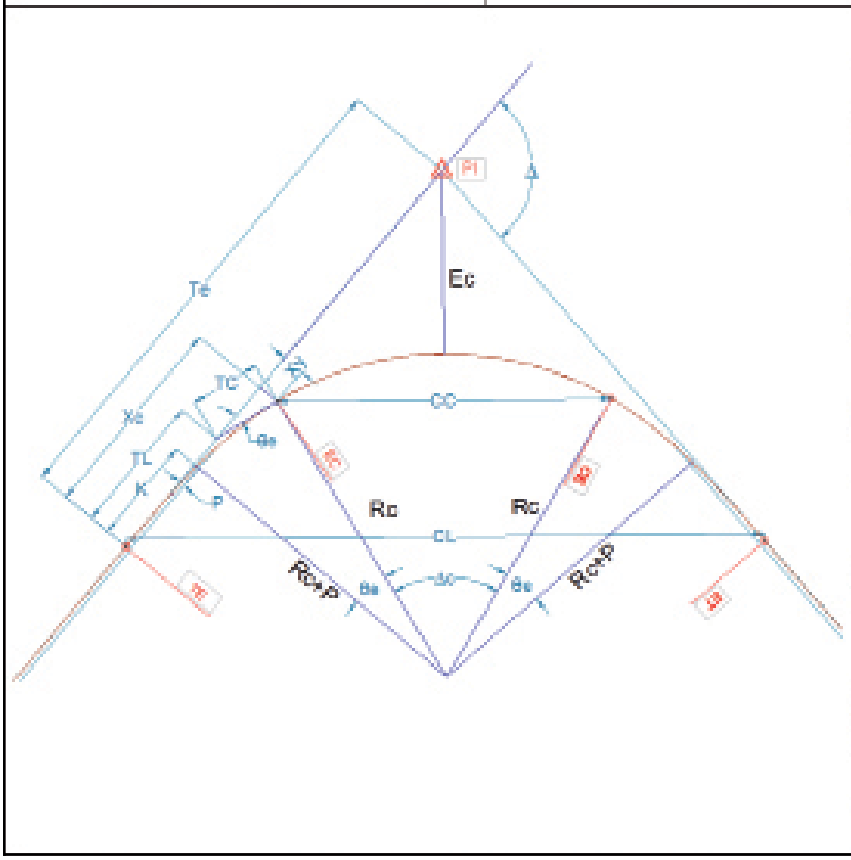
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Elementos de la Concatenación Espiral-Espiral



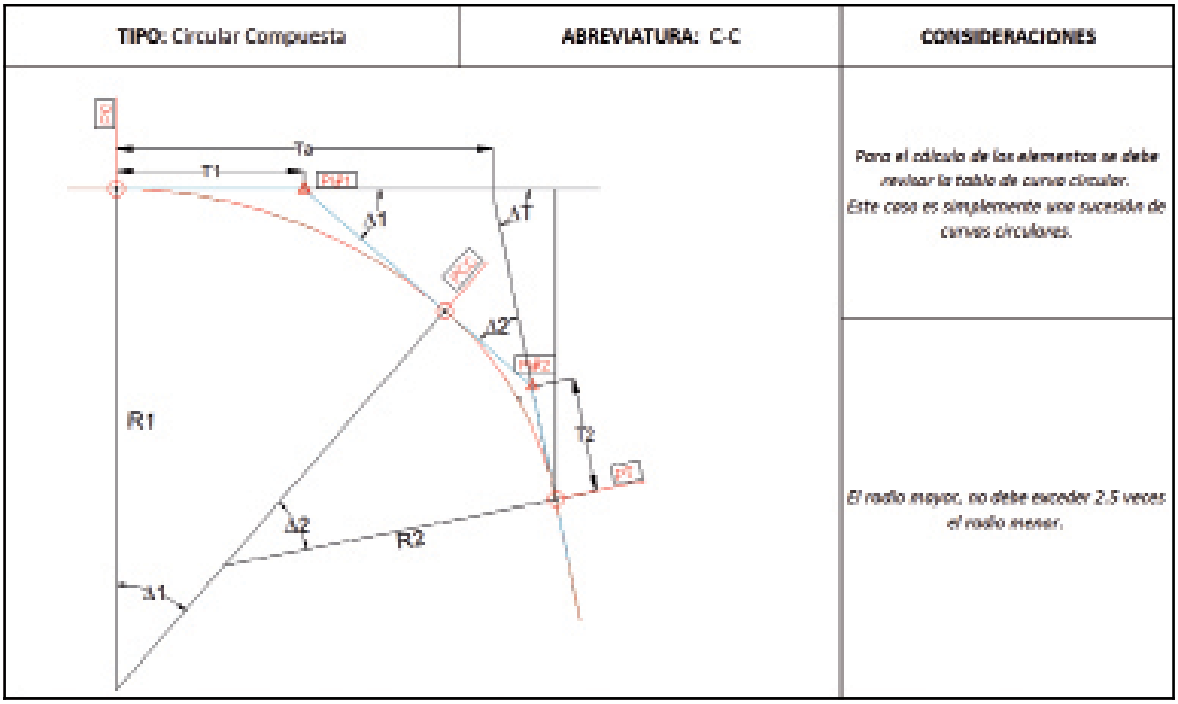
Fuente: Elaboración propia.

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 curva (L_C)
		Parámetro de la Clotoide (A) $A^2 = R * L$
		Angulo de deflexión entre tangentes en los extremos (θ_e) $\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_C}$
		Radio (R_C) $R_C = 2 * L_e * \theta_e$
		Coordenada Polar Yc (Y_C) $Y_C = L\left(\frac{\theta}{3} + \frac{\theta^3}{42} - \frac{\theta^5}{1320} + \frac{\theta^7}{75600} - \right)$
		Coordenada X del EC (X_C) $X_C = L\left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9358} + \cdots\right)$
		Tangente Espiral (T_E) $T_E = X_C + E_e * Sen\theta_e$
		Externa Espiral (E_e) $E_e = \frac{Y_C}{Cos\theta_e}$
		Distancia (p) $p = Y_C - R_C(1 - Cos\theta_e)$
		Abscisa Medio (K) $K = X_e - R_C * Sen\theta_e$
		Tangente Corta (T_C) $T_C = \frac{Y_C}{Sen\theta_e}$
		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



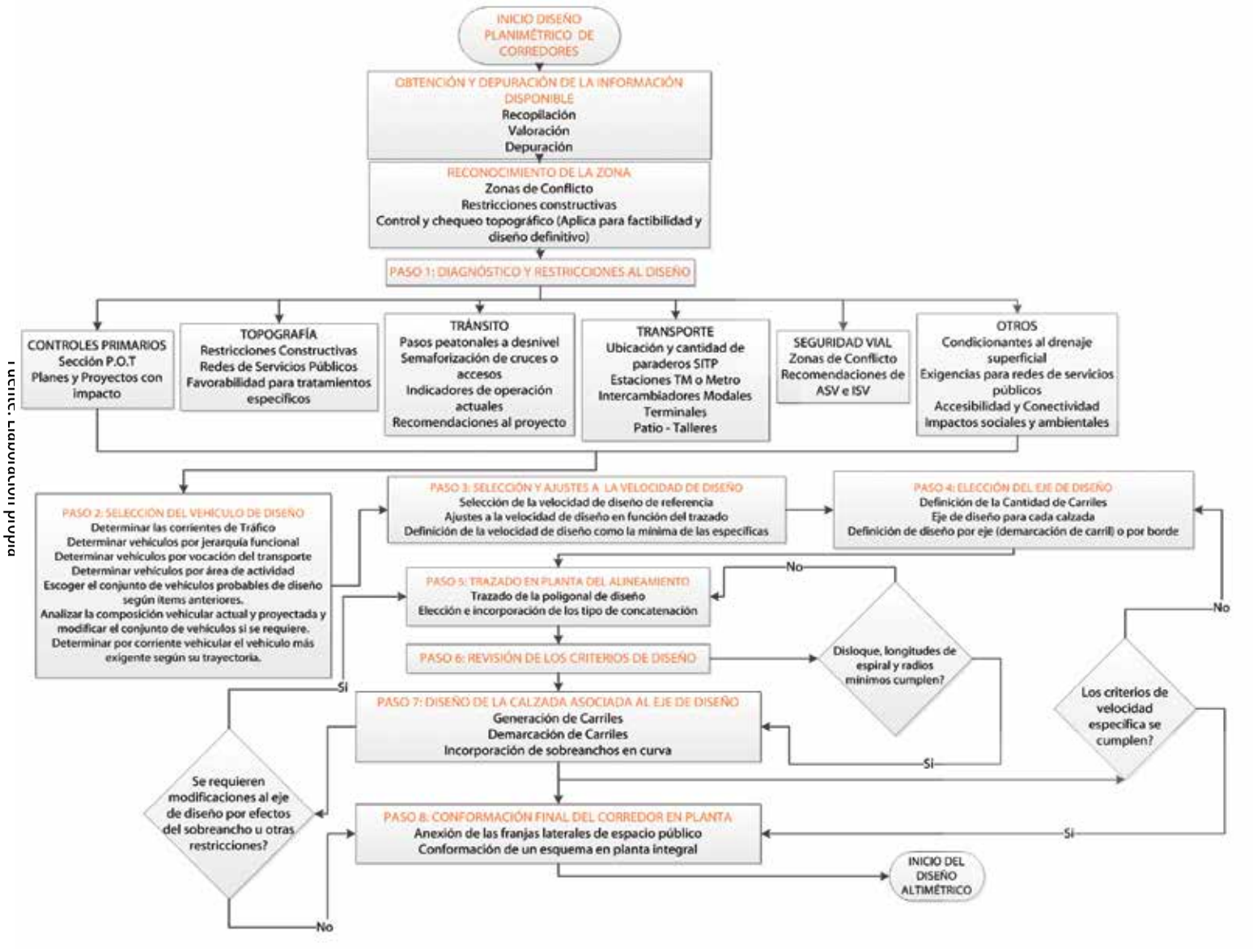
Fuente: Elaboración propia.

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.

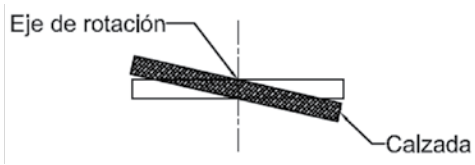
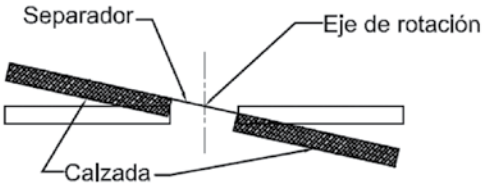
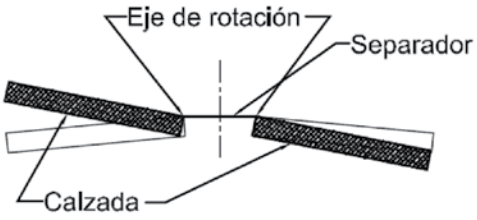
Paso 2. Selección del vehículo de diseño
Se debe seccionar el vehículo que presente las mayores exigencias al diseño (Véase Capítulo 2 Vehículo de diseño) con el objetivo de realizar un diseño que cumpla con todos los aspectos en cuanto a seguridad, comodidad y finalidad.

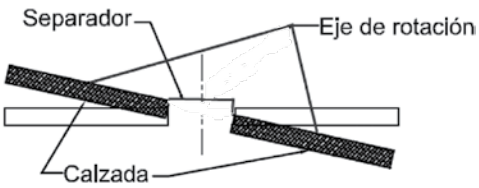
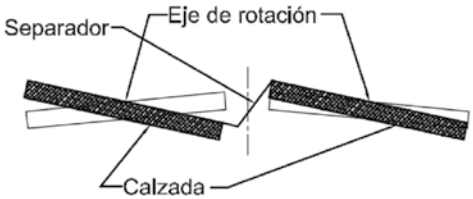
Paso 3. Elección de velocidad de diseño
Se debe seleccionar una velocidad de diseño de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 2. Velocidades de diseño. Una vez determinada continuar al paso 4.

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:

R

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

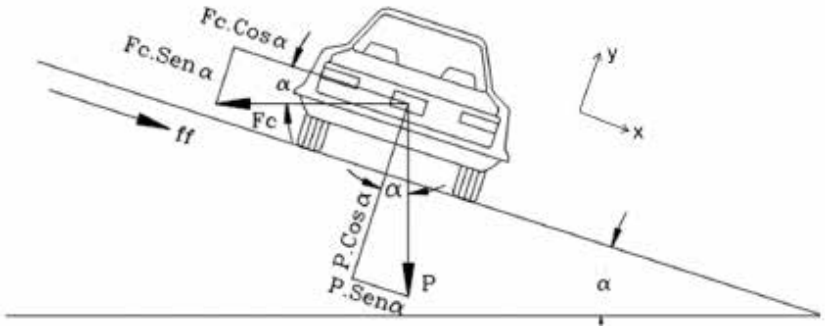
Cuando el vehículo se mueve en una curva horizontal, experimenta una fuerza centrípeta que lo hala hacia el centro de la curva. Esta aceleración se contrarresta con la fricción lateral y la componente horizontal del peso generada al inclinar la calzada hacia el centro de la curva, así pues, el coeficiente 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: "Tomado de Diseño Geométrico de Vías - Ajustado al Manual Colombiano" Ing. John Jairo Agudelo

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.

R

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:

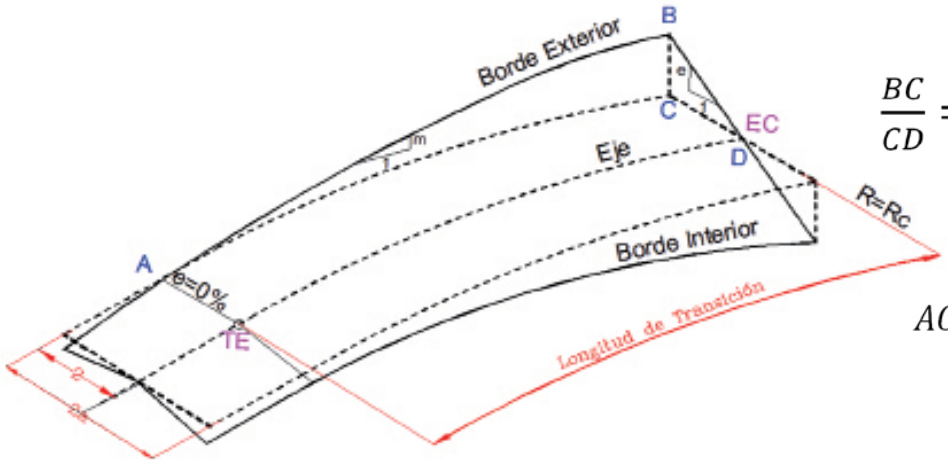
Tabla 7. Máximas pendientes relativas

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.

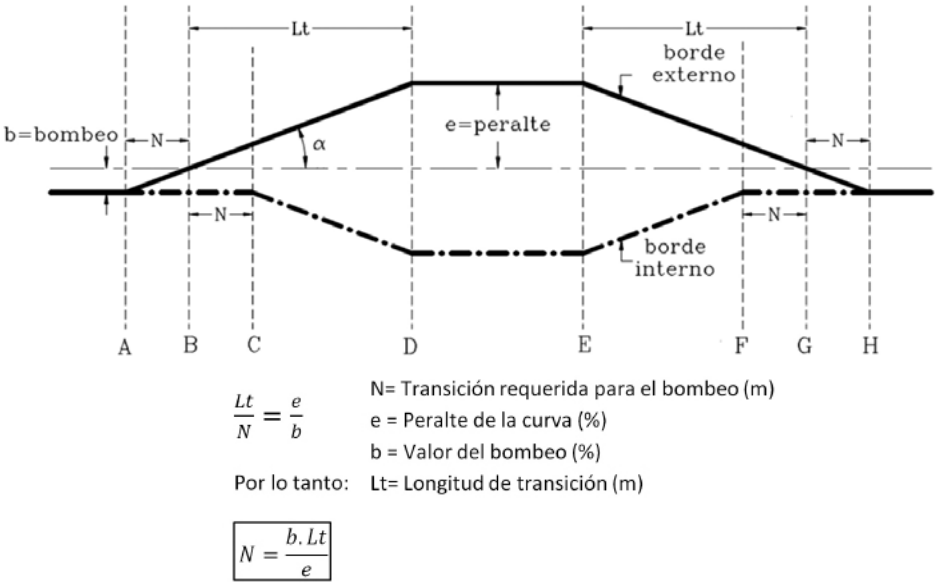
De la fórmula anterior, la pendiente m, es una medida relativa de la pendiente que se eleva, por unidad de longitud y por lo tanto:

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

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: "Tomado de Diseño Geométrico de Vías - Ajustado al Manual Colombiano" Ing. John Jairo Agudelo

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.**

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

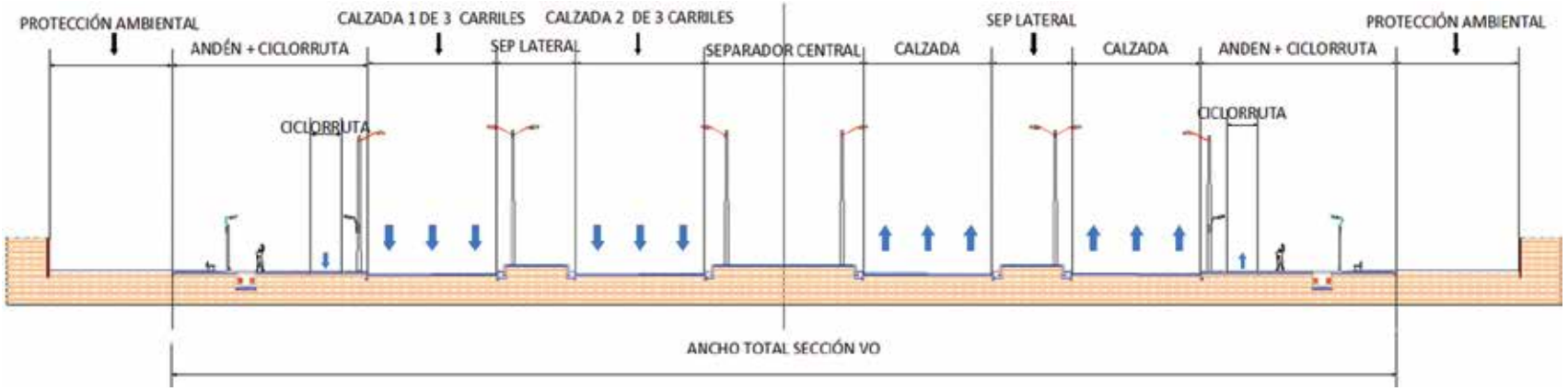
** Unidireccional

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

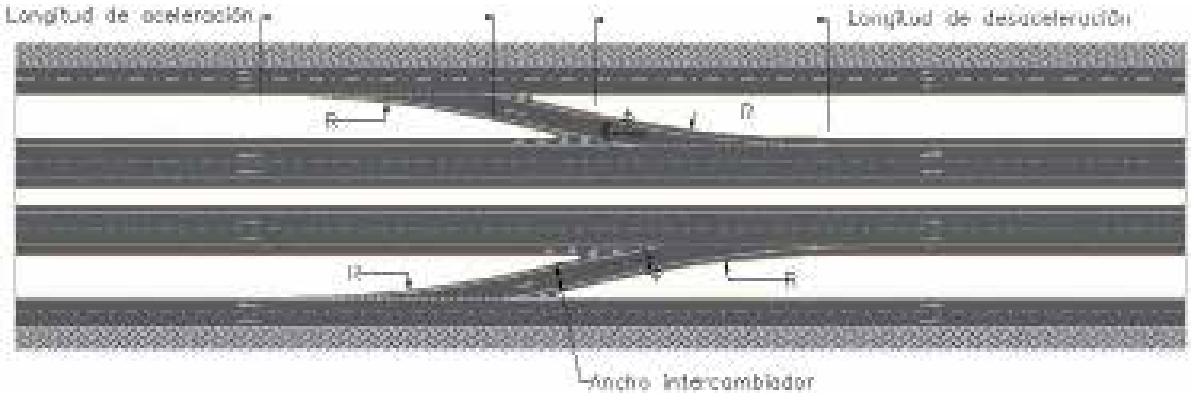
INTERCAMBIADOR DE CALZADA

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.

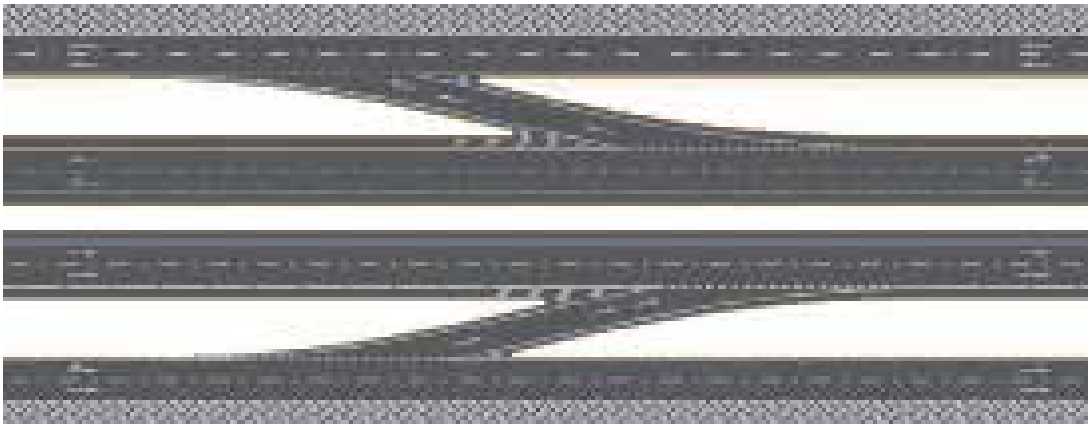
Tabla 10. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de intercambiadores

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.

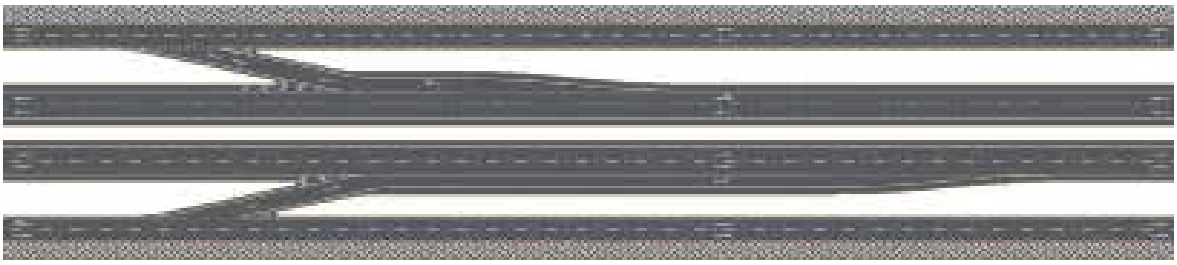
Figura 15. Intercambiadores con cuña y sin carriles de aceleración ni desaceleración



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:

D

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.

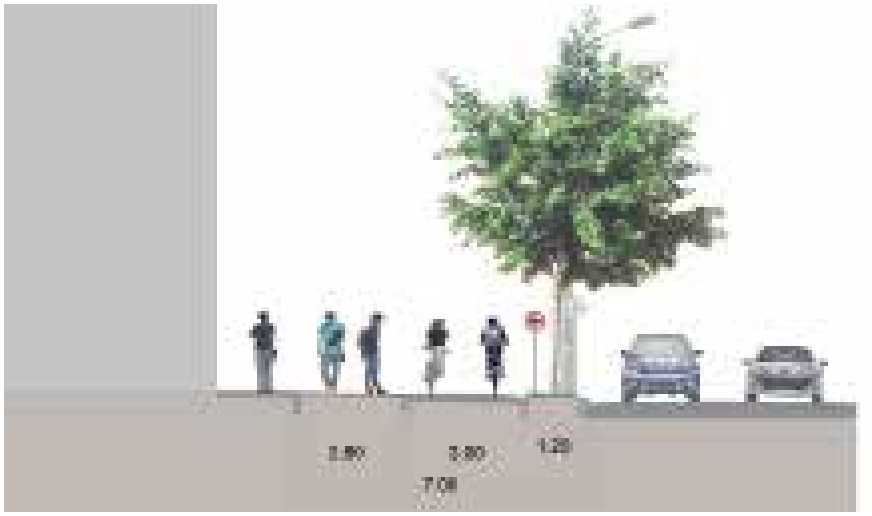
TIPO Y DEFINICIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ciclorruta en separador: Ciclorrutas con o sin protección, localizadas sobre el separador central de un corredor.	• No limita el acceso a predios. • Mínima exposición al riesgo de accidentalidad pues se disminuyen las variables de exposición y vulnerabilidad, especialmente 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).

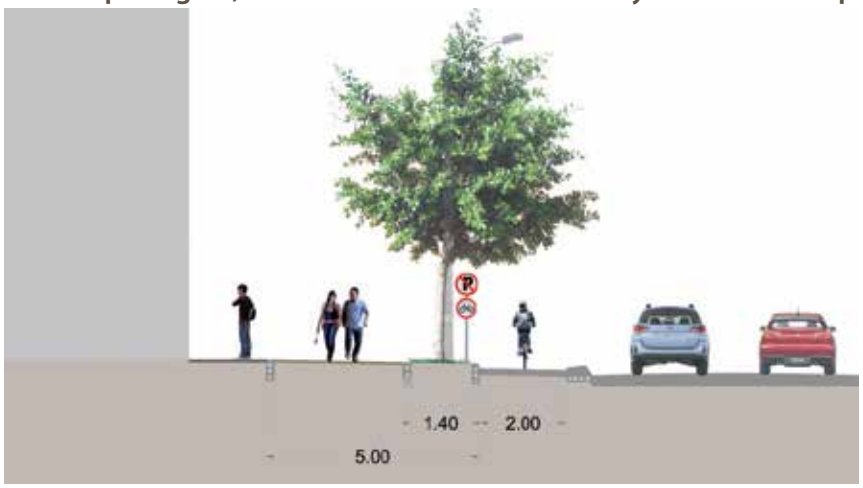
Las siguientes figuras ilustran los tipos de ciclorrutas antes mencionados:

Figura 20. Ciclorruta sobre andén



Fuente: Elaboración propia.

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

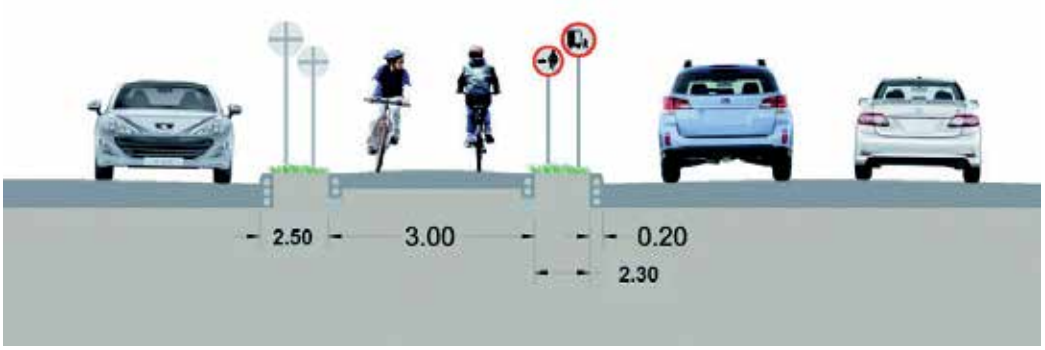




Fuente: Elaboración propia.

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

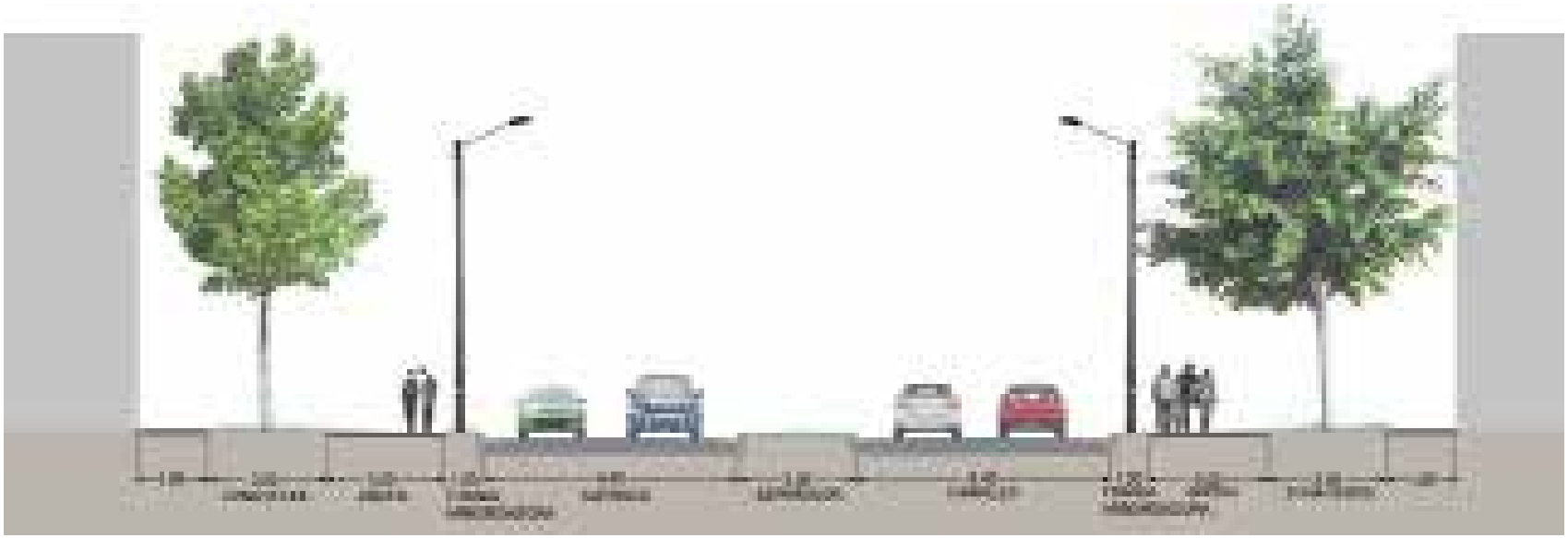
Dentro de los perfiles viales de la malla vial arterial que el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) determina, la franja correspondiente al Control Ambiental es un espacio con alto potencial para manejo paisajístico y lúdico, el cual debe ser aprovechado como parte integradora del entorno y de los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

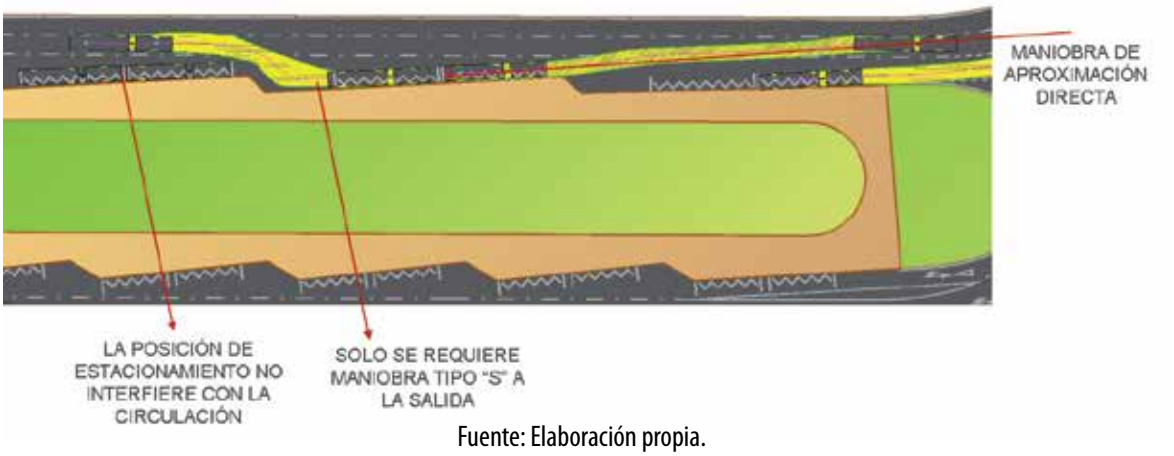
En cuanto al tema de diseño geométrico al que atiende esta Guía, el diseñador debe tener en cuenta algunos aspectos generales para su proyección. Inicialmente para el planteamiento del esquema básico de operación, se deberá considerar lo siguiente:

- 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

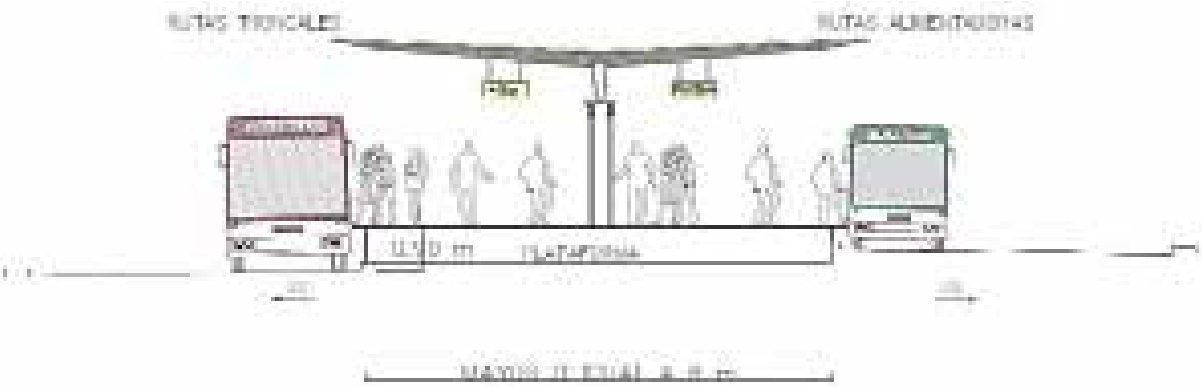


Fuente: MoBilé S.A, Disvial IP SAS y Sociedad Cabal Arquitectos.

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:

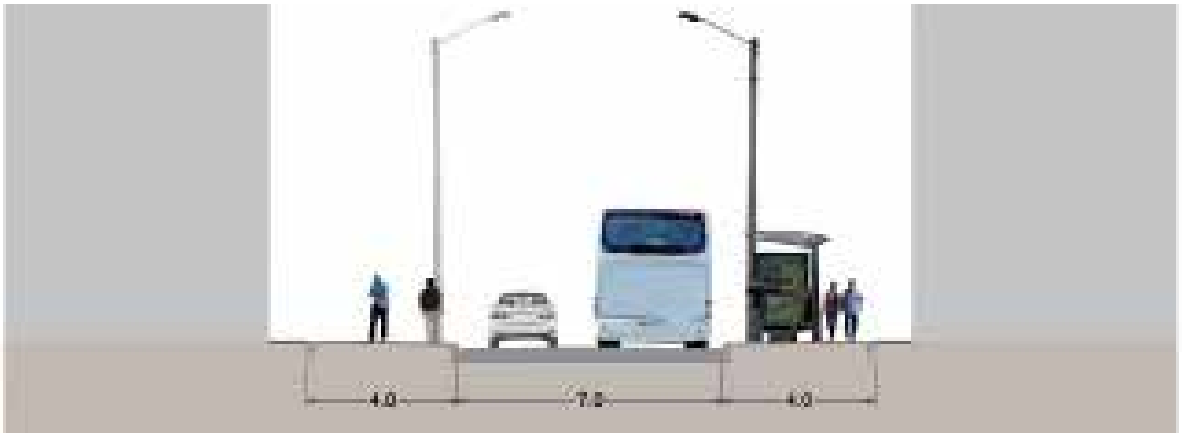
- Tipo 1 - Paradero de toque: pueden implementarse en vías con anchos mayores a 6.0 m que permitan el adelantamiento del bus que se detiene. Para vías locales, con anchos menores, si se decide implementar este tipo de paradas, la operación de los buses deberá realizarse en carrusel, bajo protocolos que 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.

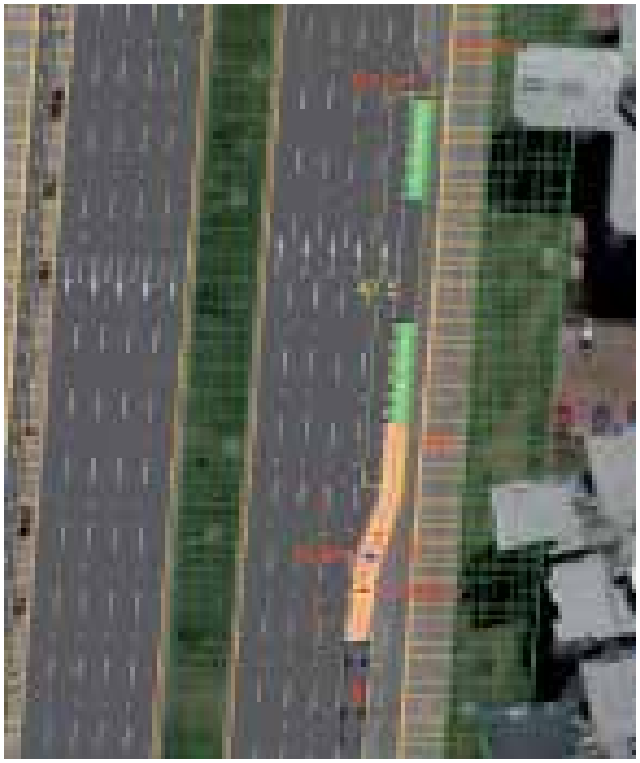
Figura 29. Sección Transversal Paradero de toque en Corredor Local



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

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	JERARQUÍA	SECCIÓN TRANSVERSAL (m)	CONDICIÓN DE COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h) - APLICA PARA PROYECTOS NUEVOS										
				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.

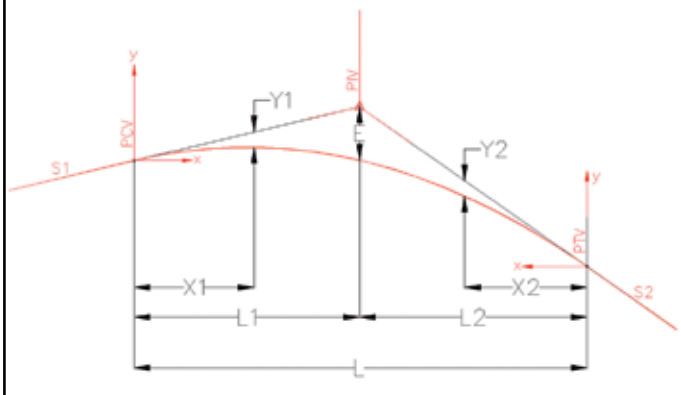
5.1.3 Gálibos

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:

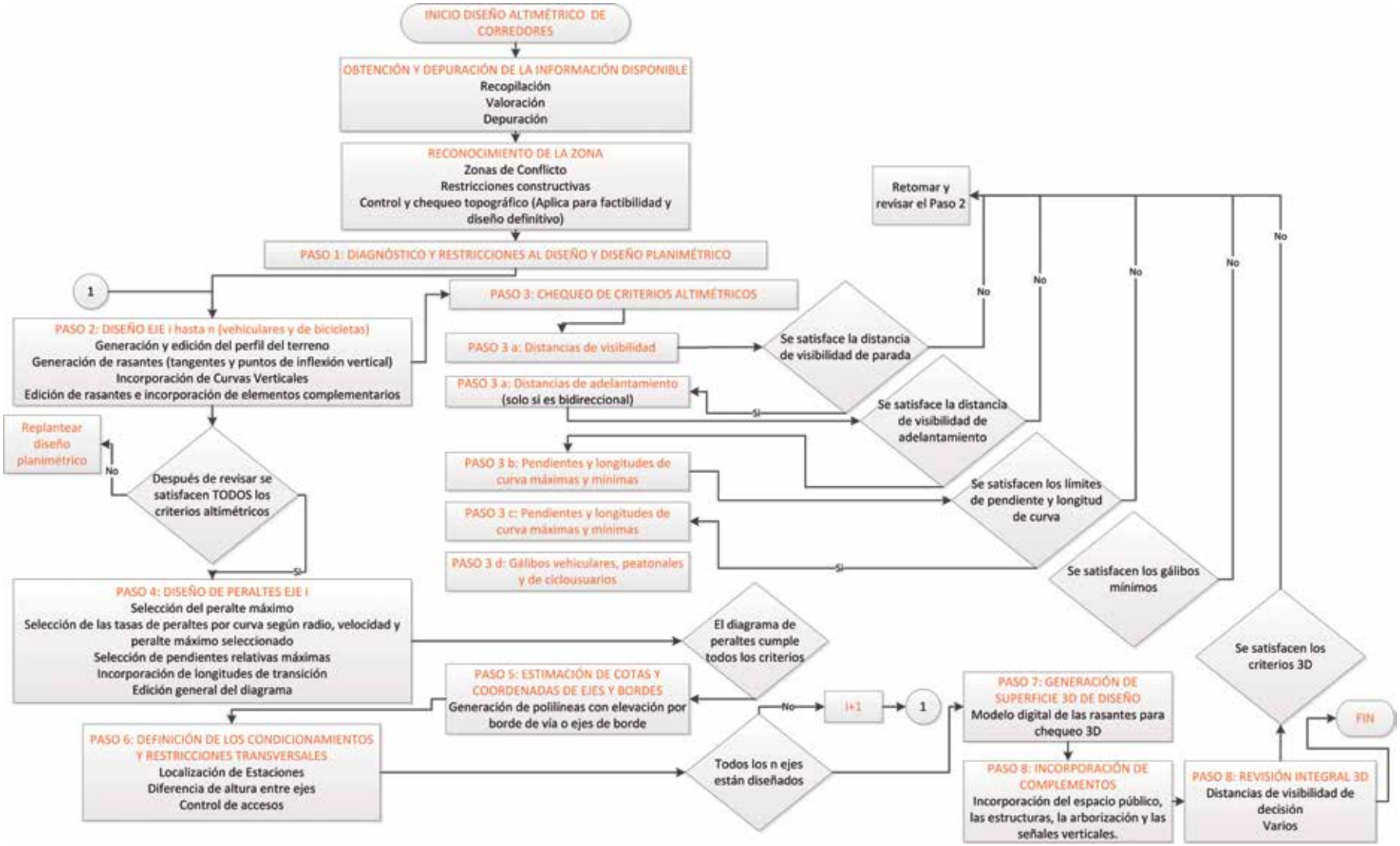
- **Paso 1:** deben considerarse todas las restricciones estimadas del diagnóstico, los procedimientos señalados en el Capítulo 2 y los resultados de la aplicación de la Figura 5. Diagrama de flujo resumen del diseño geométrico en planta.

- **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.

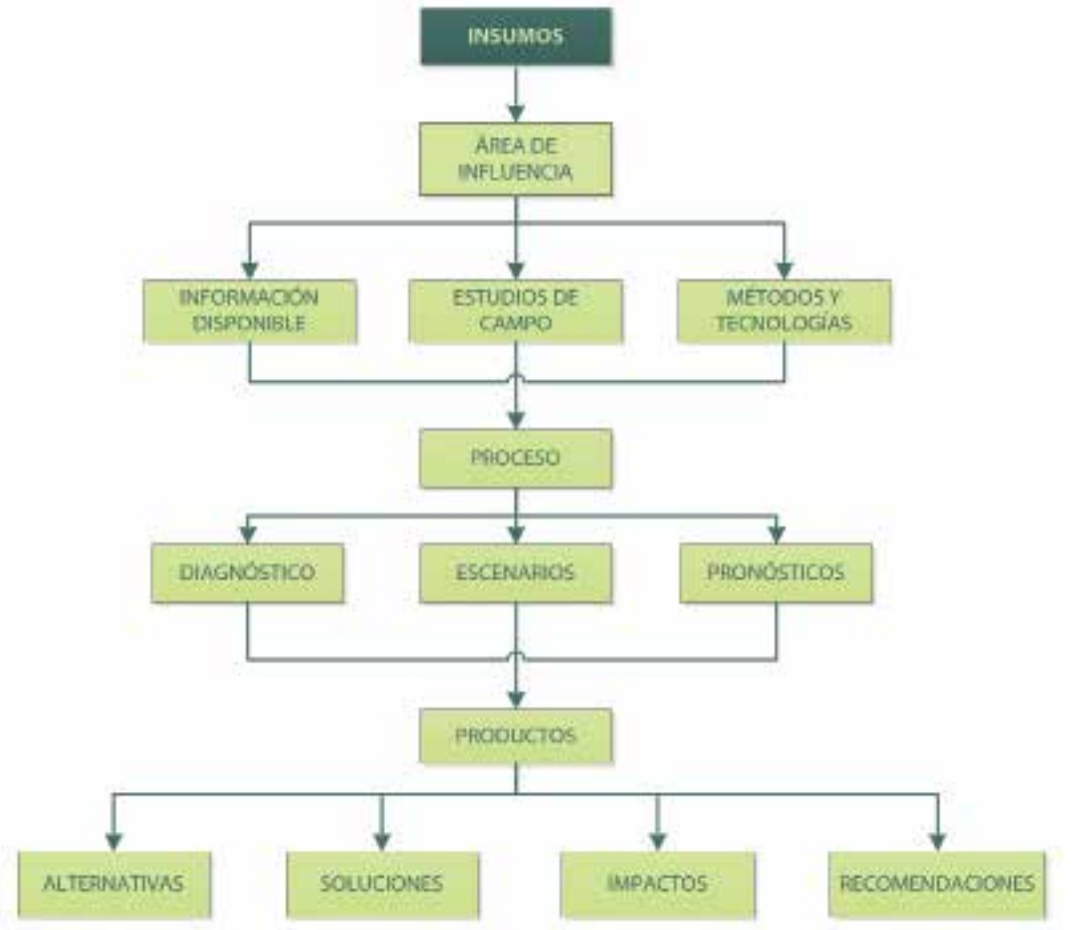
El análisis de tránsito debe incorporar una visión intermodal que incluya la afectación que tengan sobre la red vial distintos elementos de la red vial, esto es estacionamientos, paraderos, paso de peatones, de ciclousuarios y movilidad reducida, de tal forma que el análisis puntual se oriente a corroborar 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.

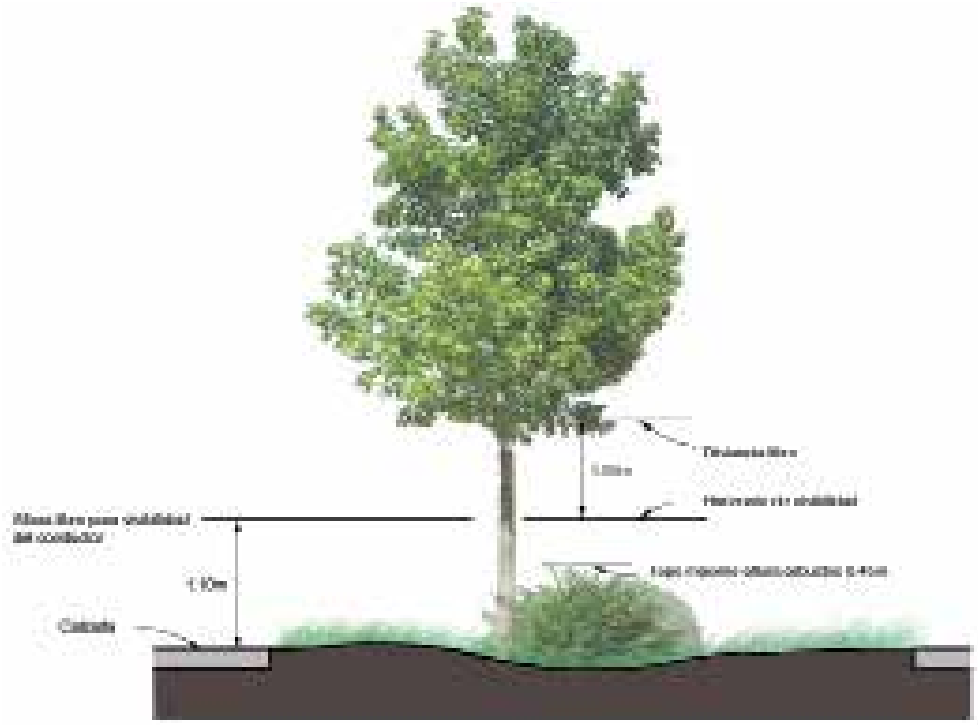
Figura 38. Líneas de visión para conductor, libres de obstáculos



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)



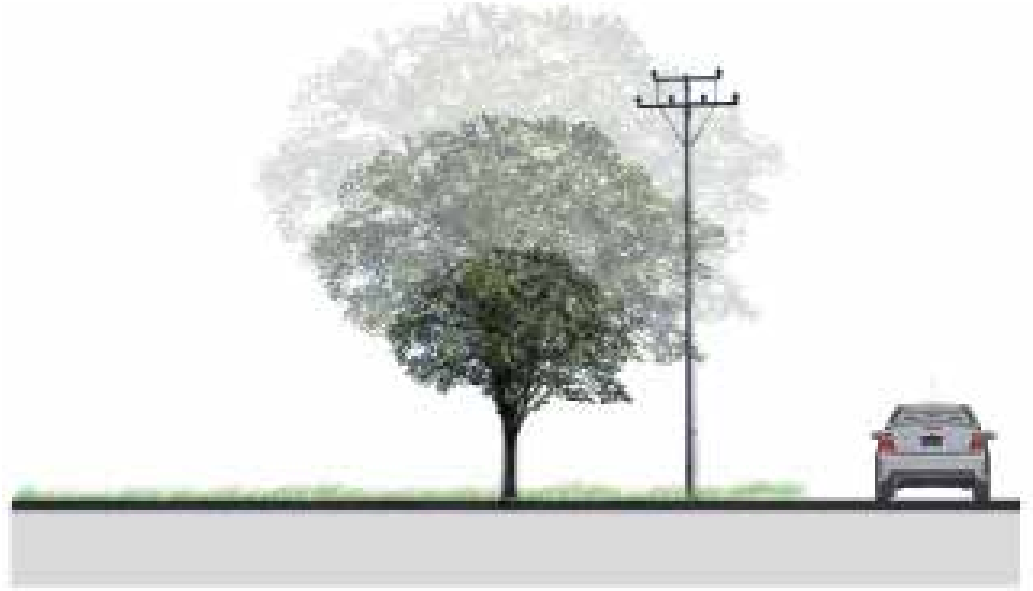
Fuente: Elaboración propia.

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.

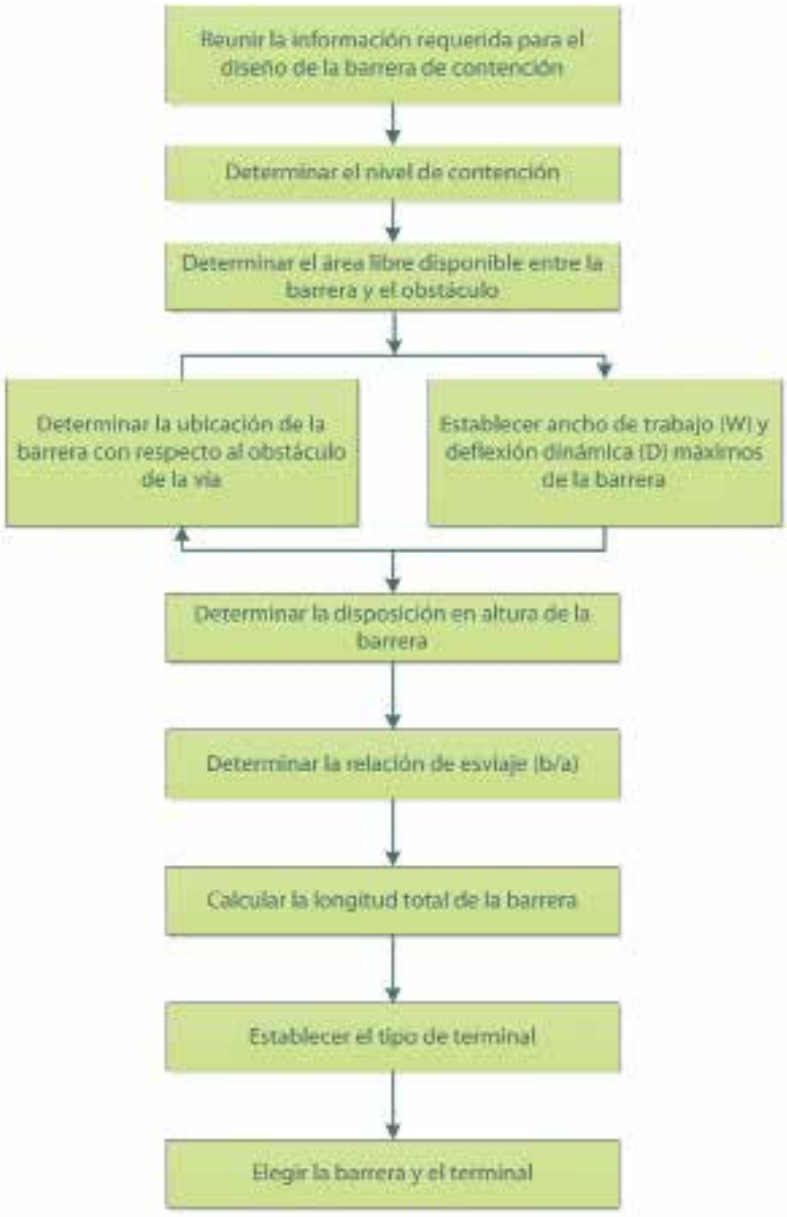
Tabla 23. Criterios para la selección del tipo de contención

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.

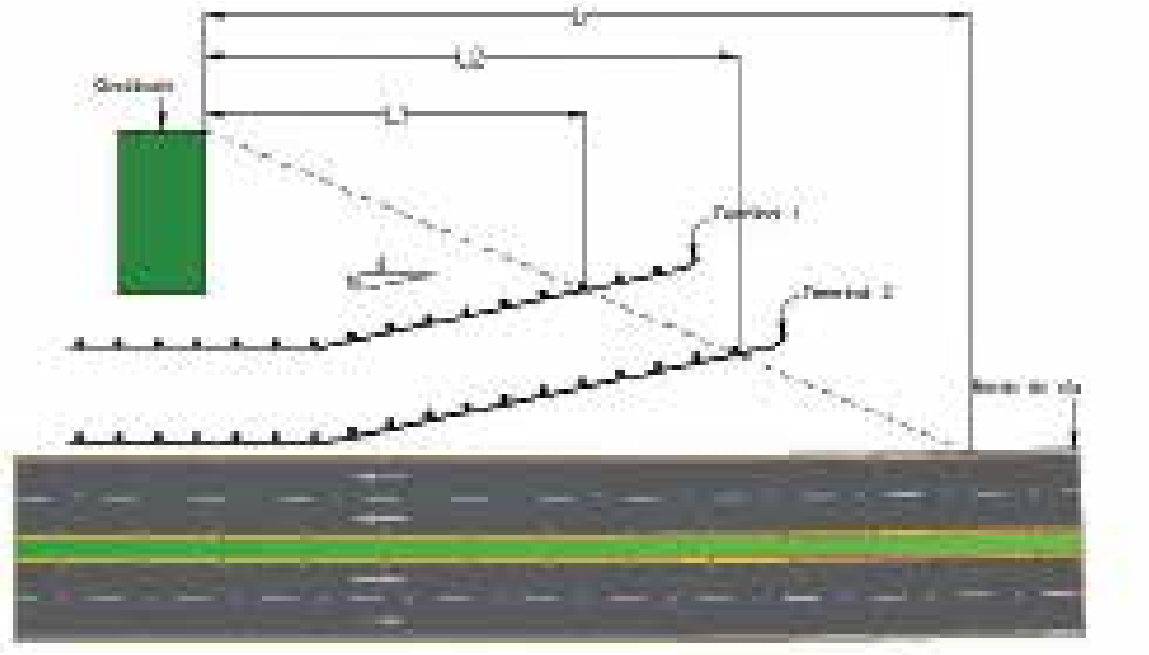
  Es recomendable a nivel urbano que el gálibo lateral o zona de "cautela" sea medido desde el borde externo de la berma e incluya además una zona de "guardarruedas" con una ancho mínimo de 0.6 m. La distancia desde el borde del carril no debe ser mayor de 4 m, para reducir la probabilidad que un vehículo 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

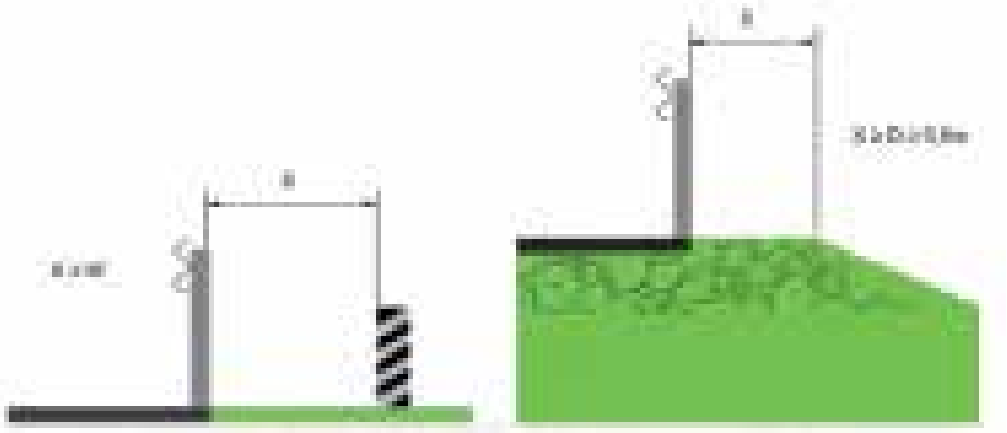


L_R: Distancia teórica que recorre el vehículo cuando se sale de la vía.
Fuente: Elaboración propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

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

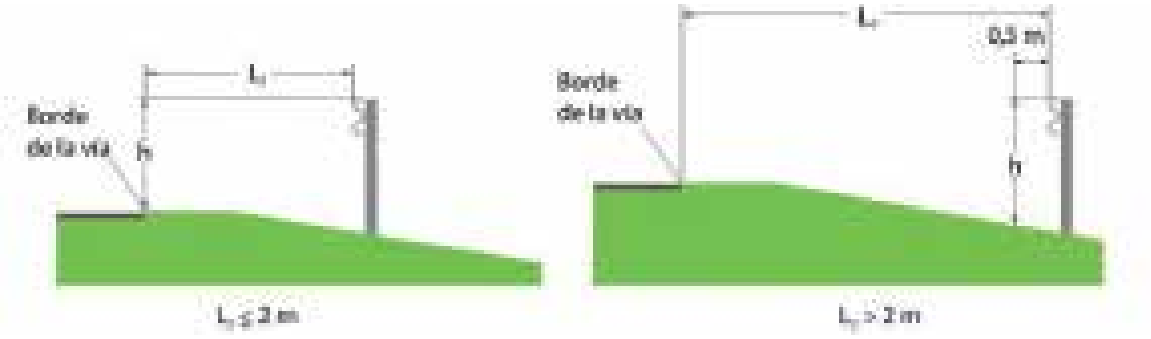


Fuente: Tomado de (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

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

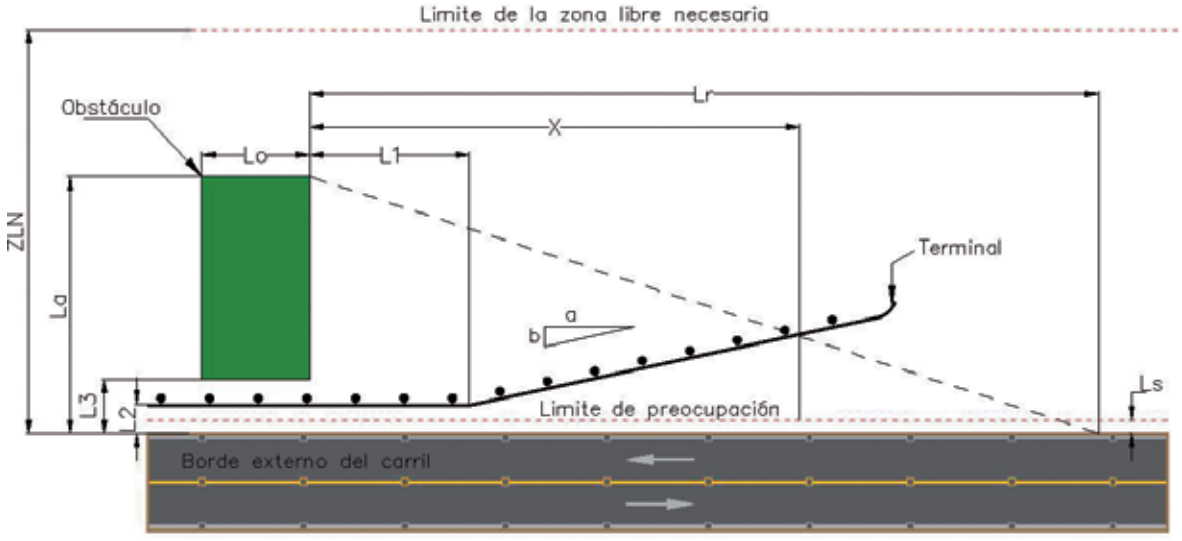


Fuente: Tomado de (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **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.

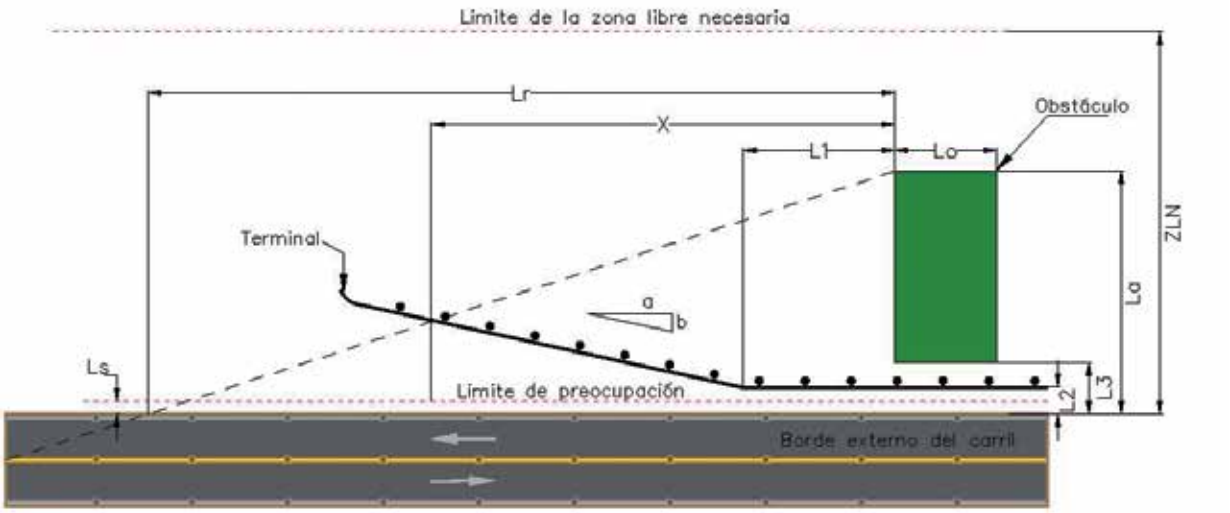
- **Longitud de la barrera en tramos rectos:** la longitud de la barrera debe iniciar antes de la zona de peligro y debe ser prolongada más allá de que ésta termine. Las variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la barrera se pueden consultar en la Guía Técnica para el Diseño, Aplicación 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:

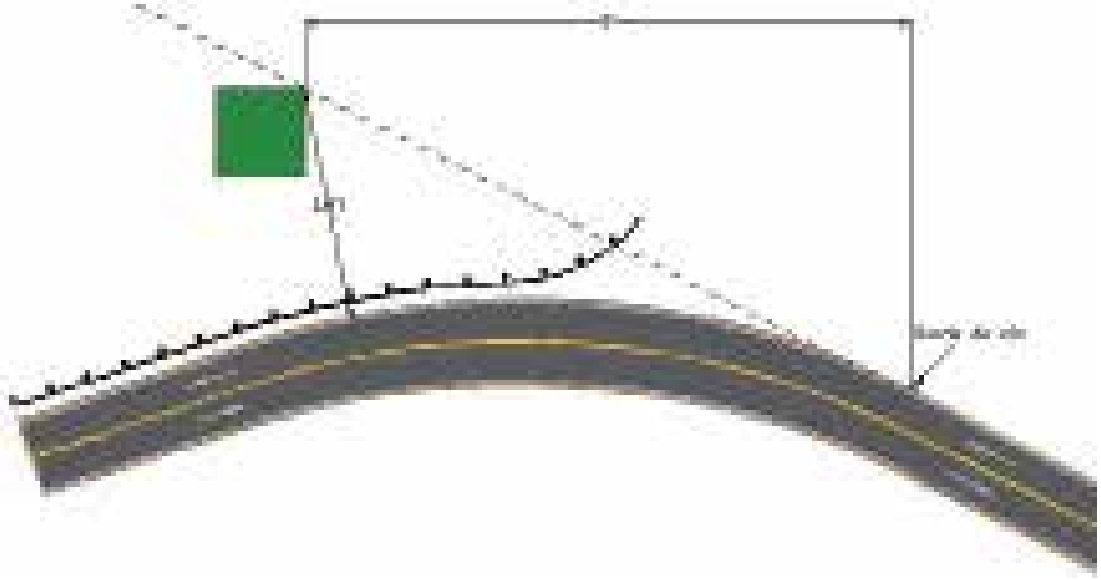
Ls = Distancia de cautela o preocupación.
L_R = Distancia teórica que recorre el vehículo cuando se sale de la vía.
ZNL = Zona libre Necesaria.
L_A = Distancia desde el borde de carril hasta el extremo más alejado del obstáculo.
Lo = Longitud del obstáculo, medido paralelo a la vía.
L_1 = Longitud de 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

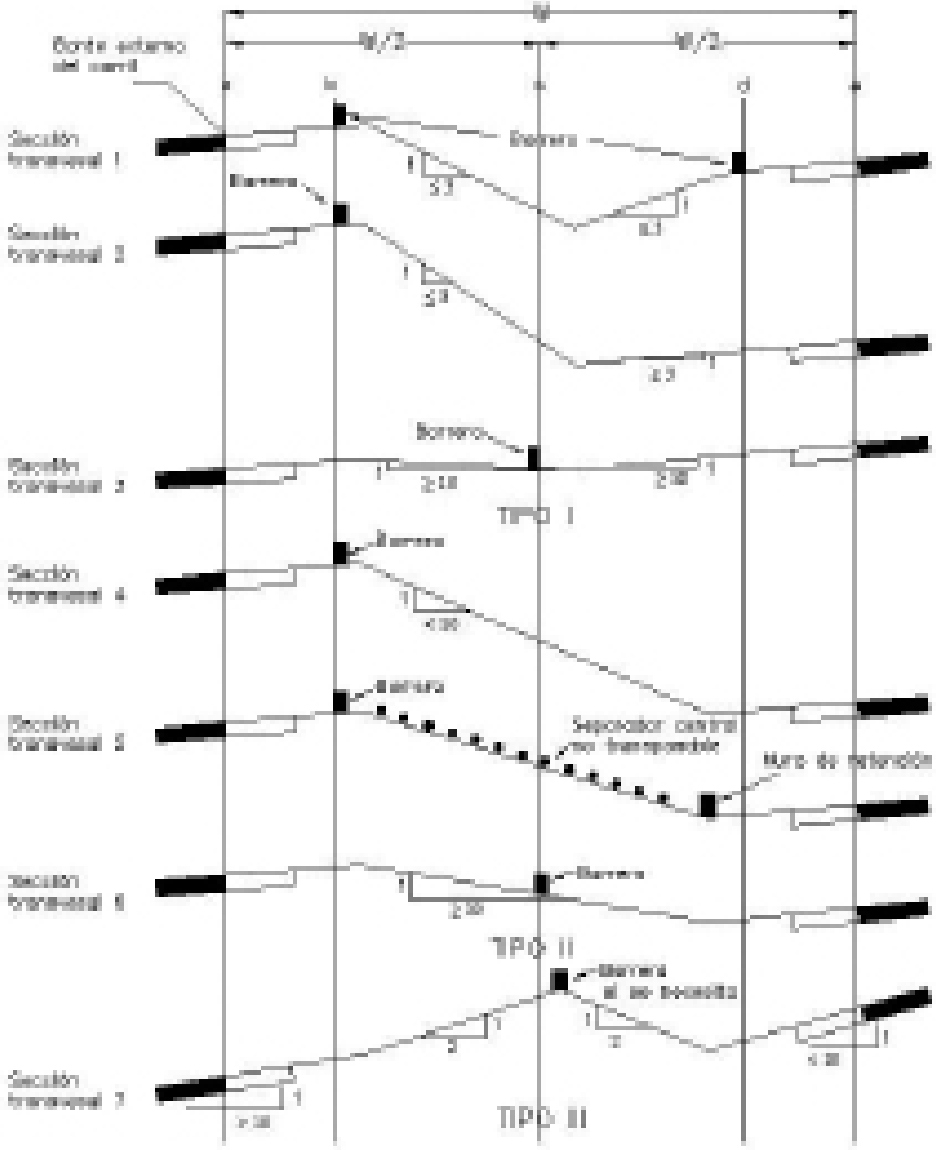


Fuente: Elaboración Propia con base en (HOF Consultores S.A.S & Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

- **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

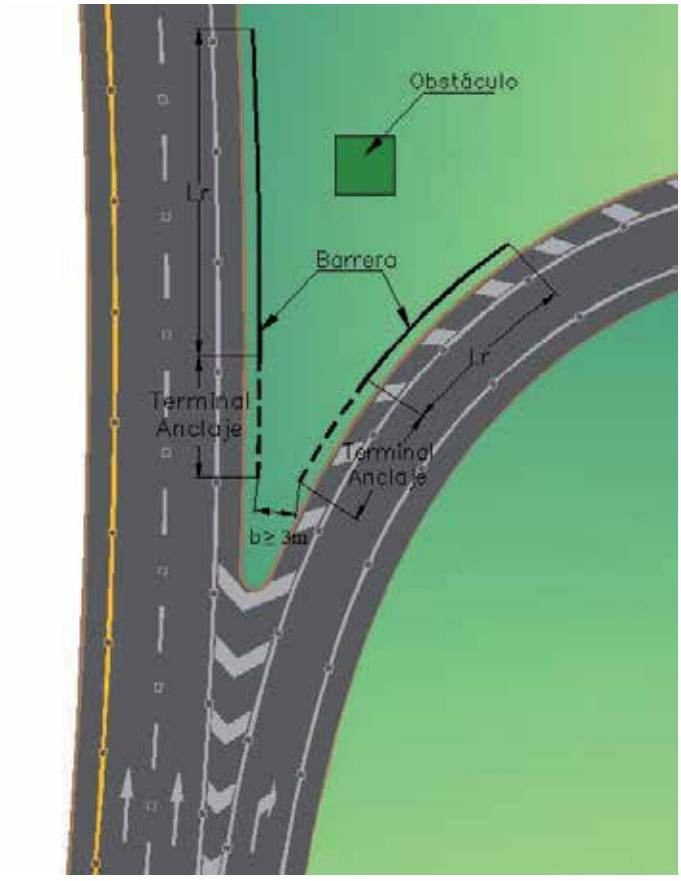
involucrados en un accidente, a pesar de los costos económicos que se acarreen. En la Guía técnica ya mencionada, se ofrecen recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta en el momento de la selección.

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

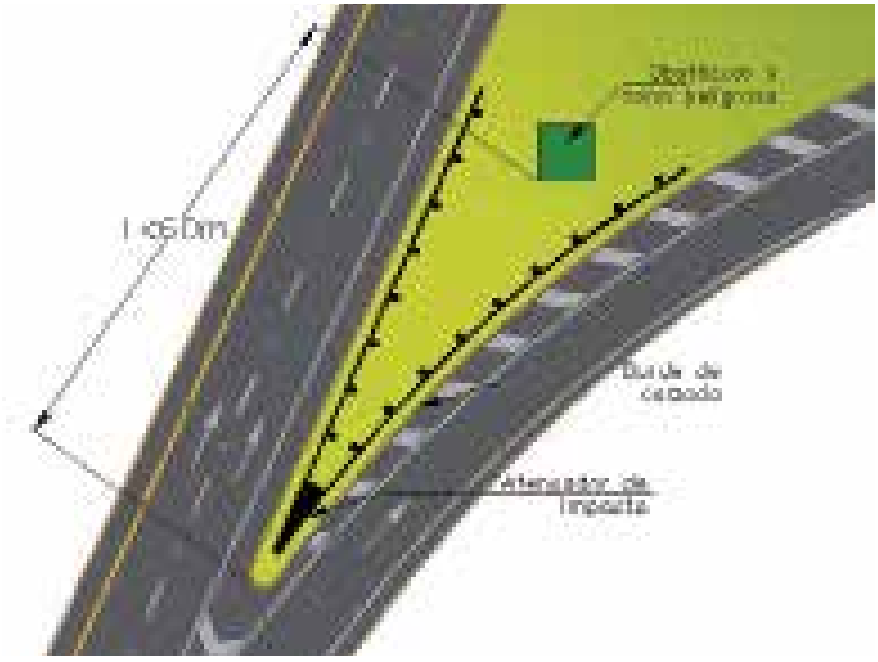
Se usan en zonas urbanas para mitigar el efecto de choques frontales generado por obstáculos peligrosos, para los que las barreras de seguridad no resulten eficaces, debido al ángulo de incidencia; tienen por objeto reducir las consecuencias de un choque frontal, absorbiendo la energía cinética del vehículo, 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.

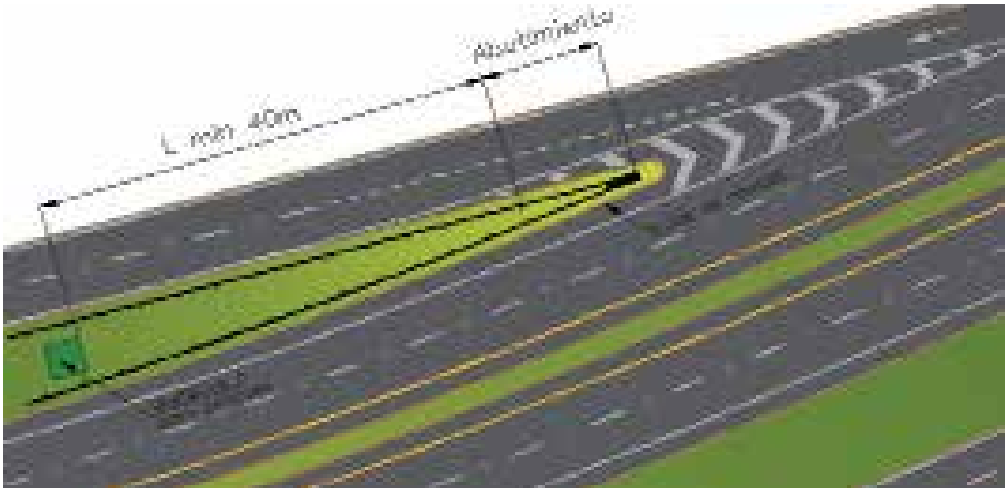
Figura 50. Criterios para la implementación de atenuadores de impacto en narices en rampas de salida



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.