EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE BOGOTÁ D.C EN RELACIÓN CON MANUALES INTERNACIONALES

JONATHAN DAVID GUEVARA FORERO
ANDRES FERNANDO PANCHE CARREÑO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE BOGOTÁ D.C EN RELACIÓN CON MANUALES INTERNACIONALES

JONATHAN DAVID GUEVARA FORERO

ANDRES FERNANDO PANCHE CARREÑO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

Director de Trabajo de Grado: Ing. Nancy Cifuentes

Asesor Metodológico: Laura Cala Cristancho

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2018

AGRADECIMIENTOS

En estos momentos de nuestra formación académica solo tenemos palabras de agradecimiento para con nuestros padres, los cuales estuvieron en nuestros momentos difíciles con unas palabras de aliento, son ellos los que siempre están sin importar nuestros errores, por eso, en estas pocas líneas queremos que recuerden lo importante que han sido en nuestras vidas y carrera.

De igual manera, agradecer a Camila y Katheryn, que, aunque ellas no lo vean o crean que es poco, han sido de gran sustento en estos años universitarios, son ellas las que con amor, nos impulsan para cada día esforzarnos por nuestros objetivos.

Durante nuestro ciclo académico tuvimos la fortuna de ser educados por docentes, cuyo objetivo siempre fue formarnos con altos estándares de calidad y competencias, para cada uno de ellos nuestros más sinceros agradecimientos.

Por último, nuestra mención de honor compartida es otorgada a dos mujeres que fueron los pilares en la elaboración de este documento; seguramente sin su colaboración no estaríamos tan cerca de anteceder nuestros nombres con la palabra “ingeniero”.

Licenciada Laura, gracias por corregirnos siempre con una sonrisa, por ser tan paciente con estos novelistas, no olvidaremos esas asesorías con risas en la oficina.

Ingeniera Nancy, gracias por compartir con nosotros gran parte su conocimiento, por siempre tener la mejor disposición para asesorarnos, estarán en nuestros recuerdos esas extensas horas de lectura dedicadas por usted para la realización de este proyecto.

CONTENIDO Pág.

INTRODUCCIÓN 12

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

2. OBJETIVOS 15

2.1 OBJETIVO GENERAL 15

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3. ANTECEDENTES 15

4. JUSTIFICACIÓN 18

5. MARCOS DE REFERENCIA 20

5.1 MARCO HISTÓRICO 20

5.2 MARCO TEÓRICO 21

5.3 COMPONENTES TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE CICLORUTAS 21

5.3.1 Tipos de ciclorutas 21

5.3.2 Espacio útil del ciclista 24

5.3.3 Anchos de carril 25

5.3.4 Velocidad de diseño 26

5.3.5 Pendientes 26

5.3.6 Radios de giro o de curvatura 27

5.3.7 Peraltes 27

5.3.8 Distancia de visibilidad 28

5.3.9 Longitud de curva vertical 28

5.3.10 La intersección con otros modos de transporte 30

5.4 MARCO GEOGRÁFICO 36

5.5 MARCO LEGAL 38

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 42

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN 42

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 42

6.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS 42

6.4 FASES DE INVESTIGACIÓN 42

CONTENIDO Pág.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44

7.1. REVISIÓN TÉCNICA DE MANUALES DE DISEÑO DE CICLORUTAS A NIVEL INTERNACIONAL 44

7.1.1. MANUAL DE DISEÑO DE TRÁFICO DE BICICLETAS DE HOLANDA (CROW) 44

7.1.1.1. Dimensiones de las bicicletas 44

7.1.1.2. Velocidad de diseño 45

7.1.1.3. Las curvas y la visibilidad 46

7.1.1.4. Pendientes 46

7.1.2. MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE LA CIUDAD DE CATALUÑA ESPAÑA 47

7.1.2.1. Tipología de vías ciclísticas 47

7.1.2.2. Velocidades de circulación 48

7.1.2.3. Velocidad de diseño 49

7.1.2.4. Radios de giro 50

7.1.2.5. Distancia de visibilidad 52

7.1.2.6. Distancia de parada 52

7.1.2.7. Distancia de visibilidad en curvas. visibilidad lateral 52

7.1.2.8. Anchos de vías ciclísticas 53

7.1.3. MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS 55

7.1.3.1. Velocidad de diseño 57

7.1.3.2. Pendientes 59

7.1.3.3. Peraltes y radios de curvatura 62

7.1.3.4. Distancia de visibilidad 64

7.1.3.5. Verificación distancia de visibilidad en planta 66

7.1.3.6. Verificación distancia de visibilidad en elevación 67

7.1.3.7. Anchos de vías ciclísticas 69

7.1.4. MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA –PLAN MAESTRO METROPOLITANO DE LA BICICLETA DEL VALLE DE ABURRÁ 71

7.1.4.1. Tipos de ciclorutas 72

CONTENIDO

		Pág.
7.1.4.2.	Velocidad de diseño	72
7.1.4.3.	Tipología de vehículos	73
7.1.4.4.	Distancia de visibilidad en tramos rectos	74
7.1.4.5.	Distancia de visibilidad en tramos curvos	75
7.1.4.6.	Radios de curvatura	77
8	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MANUALES INTERNACIONALES CON EL MANUAL DE BOGOTÁ	78
8.1.1.	Estimación de demanda	78
8.1.2.	Tipos de vías para bicicletas	79
8.1.3.	Dimensiones de la bicicleta	81
8.1.4.	Ancho mínimo	82
8.1.5.	Velocidad de diseño	83
8.1.6.	Pendiente máxima	84
8.1.7.	Sobre anchos de pendiente	85
8.1.8.	Radios de curvatura mínimos	86
8.1.9.	Peraltes	87
8.1.10.	Distancia de visibilidad	88
9.	CONCLUSIONESY RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA		93

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Anchos de carril dependiendo de tipo de ciclorutas 25
Tabla 2. Velocidad de diseño dependiendo de la pendiente 26
Tabla 3. Pendientes a partir de desnivel 27
Tabla 4. Distribución administrativa de Bogotá 36
Tabla 5. Dimensiones de la bicicleta 45
Tabla 6. Visibilidad en curvas 46
Tabla 7. Tipos de vías ciclísticas 48
Tabla 8. Velocidades de circulación 49
Tabla 9. Velocidad de diseño 49
Tabla 10. Coeficiente de rozamiento a partir del tipo de capa de rodadura 50
Tabla 11. Radios de giro 51
Tabla 12. Ancho mínimo según el tipo de vía 55
Tabla 13. Velocidad de diseño en función de la pendiente 57
Tabla 14. Sobreancho de vía 59
Tabla 15. Ejemplo de aplicación de pendientes máximas 59
Tabla 16. Pendientes máximas 61
Tabla 17. Radios de curvatura en función de la velocidad de diseño 64
Tabla 18. Sobreancho en el interior de la curva 64
Tabla 19. Tipos de ciclorutas 72
Tabla 20. Velocidad de diseño depende de condición 72
Tabla 21. Velocidad de diseño depende de la pendiente 73
Tabla 22. Distancia de visibilidad en tramos rectos 75
Tabla 23. Radios de curvatura para 15° de inclinación 77
Tabla 24. Análisis estimación de demanda 78
Tabla 25. Análisis tipos de vías 80
Tabla 26. Análisis dimensiones de la bicicleta 81
Tabla 27. Análisis ancho mínimo 83
Tabla 28. Análisis velocidad de diseño 84
Tabla 29. Análisis pendiente máxima 85

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 30. Análisis sobre anchos de pendientes 86

Tabla 31. Análisis radio de curvatura 87

Tabla 32. Análisis peraltes 88

Tabla 33. Análisis distancia de visibilidad 89

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Cicloruta en andén 22

Figura 2. Cicloruta en vía compartida 22

Figura 3. Bulevar para bicicletas 23

Figura 4. Vía compartida 24

Figura 5. Dimensiones de la bicicleta 25

Figura 6. Longitud de curva vertical 29

Figura 7. Intersección de una calzada de bicicleta y una rampa de acceso de volumen bajo 31

Figura 8. Intersección de una trayectoria de bicicleta y una rampa de acceso de alto volumen 32

Figura 9. Calzada unidireccional de bicicleta con calzada vehicular de giro exclusivo a la derecha 33

Figura 10. Intersección de cuatro calzadas unidireccionales de bicicletas con señales de tráfico y con islas de refugio (tráfico pesado) 34

Figura 11. Calzada de bicicleta en una intersección rotatoria 35

Figura 12. Avenidas principales de Bogotá 37

Figura 13. Red de ciclorutas de Bogotá 38

Figura 14.Dimensiones de las bicicletas 45

Figura 15. Pendientes con relación al peralte y diferencia de altura 47

Figura 16. Radio mínimo para vías ciclistas 51

Figura 17. Dimensiones de la bicicleta 54

Figura 18. Jerarquización del espacio publico 56

Figura 19. Velocidad de diseño en función de la pendiente 58

Figura 20. Ejemplo de aplicación de pendientes máximas 60

Figura 21. Pendiente aceptable en función de la longitud 61

Figura 22. Radios mínimos de curvatura en función del peralte y de la velocidad de diseño 63

Figura 23. Distancia de visibilidad en función del peralte 65

Figura 24. Distancia de visibilidad respecto a la línea central 67

Figura 25.longitud mínima de la curva para diferentes velocidades 69

Figura 26. Anchos vías ciclistas 70

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 27. Distancia para un rebase cómodo y seguro 71

Figura 28. Tipología de vehículos 73

Figura 29. Visibilidad en curvas 76

LISTA DE ECUACIONES

Pág.

Ecuación 1. Radio de giro 27
Ecuación 2. Distancia de visibilidad 28
Ecuación 3. Longitud curva vertical cuando S>L 28
Ecuación 4. Longitud curva vertical cuando S<L 29
Ecuación 5. Radio de giro 50
Ecuación 6. Distancia de parada 52
Ecuación 7. Distancia de visibilidad lateral 53
Ecuación 8. Radio mínimo de una curva 62
Ecuación 9. Radio mínimo de una curva en función del peralte 62
Ecuación 10. Distancia visibilidad 65
Ecuación 11. Distancia visibilidad, despeje lateral 66
Ecuación 12. Longitud mínima de la curva vertical cuando S>L 67
Ecuación 13. Longitud mínima de la curva vertical cuando S<L 68
Ecuación 14. Distancia de visibilidad en tramos rectos 74
Ecuación 15. Distancia de visibilidad en tramos horizontales curvos 75
Ecuación 16. Distancia de visibilidad en curvas 76
Ecuación 17. Radio de curvatura 77

INTRODUCCIÓN

La construcción de infraestructura especializada para el desplazamiento de medios de transportes alternos no motorizados se ha convertido en una necesidad durante los últimos años, producto de la gran cantidad de campañas a favor de estos medios de transporte sustentable, como también de la cantidad de usuarios que se han acogido a este. Por esta razón, la construcción de redes de ciclorutas cumple un papel fundamental en mejorar y conceder mejores condiciones de movilidad tanto para los usuarios de las ciclorutas como a usuarios de otros medios de transporte.

Cuando se habla de transporte no motorizado modo bicicleta se encuentran beneficios de carácter ambiental, urbanístico, económico y en la calidad de vida de las personas, así como mejoras en materia de movilidad. Actualmente se observa en todo el territorio colombiano el crecimiento de los usuarios de la bicicleta (biciusuarios), en especial en ciudades capitales como Bogotá; sin embargo, la ciclo-infraestructura que se encuentra actualmente en la ciudad es muy variable y la calidad del desplazamiento es cuestionable.

El Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá elaborado y publicado en el año de 1999, no se le han realizado modificaciones o actualizaciones, adicional a esto, no contempla actualmente criterios de diseño, en cuanto a tipos de vehículos, tipos de infraestructura, sobre anchos en curva, sobre anchos en pendientes y continuidad, por otro lado, las condiciones de la ciudad se han modificado. Lo anterior permite que se realice una revisión y evaluación del manual de diseño de ciclorutas actual junto con un análisis comparativo con los parámetros técnicos de diseño en manuales internacionales.

El objetivo principal que orientó la presente investigación fue evaluar los parámetros técnicos del manual de diseño ciclorutas de la ciudad de Bogotá D.C. a través de una metodología de estado del arte, los parámetros técnicos de diseño presentes en los manuales internacionales. Por otra parte, analizar otros referentes frente a la implementación de ciclorutas y el uso de la bicicleta es clave para la investigación ya que contribuyen con información y puntos de vista que ampliarán los análisis y los resultados de la investigación.

El trabajo busca ser una referencia de consulta por planificadores urbanos y autoridades que les permita tomar mejores decisiones con relación al diseño de la

infraestructura para los ciclistas en zonas urbanas, así, a corto plazo se pretende generar una propuesta de mejora o actualización al manual vigente de la ciudad de Bogotá D.C. y a un largo plazo poder mejorar la experiencia de uso de los biciusuarios.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de la bicicleta en la ciudad de Bogotá ha pasado de ser una actividad netamente recreativa a una alternativa de transporte, la cual mejora la calidad de vida, disminuye la contaminación ambiental y reduce la demanda en el sistema de transporte público; esto se ve reflejado en el reporte entregado por la Alcaldía de Bogotá donde menciona que el uso de la bicicleta ha aumentado en un 177% en comparación al año 2005[1]. Este aumento se evidencia en el número de ciclorutas dispuestas por la Alcaldía de Bogotá por medio de diferentes organizaciones para la movilidad de los biciusuarios los cuales cuentan con un aproximado de 344 km de red vial.[2]

El Manual de Diseño de Ciclorutas de Bogotá D.C fue creado en 1999 por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) con el fin de contemplar las condiciones de diseño necesarias para establecer una red de ciclorutas óptimas, considerando una interrelación con los demás medios de transporte. Este se enfocó en los aspectos de diseño geométrico, velocidad de diseño, pavimentación, elementos de protección, señalización, iluminación, peraltes, radios de curvatura, entre otros, y desde el año de publicación de este manual no se han generado actualizaciones, siendo necesaria la revisión en criterios de diseño teniendo en cuenta los tamaños y pesos de los vehículos no motorizados vigentes, los cuales han cambiado en el transcurso de los últimos 20 años y el aumento en la demanda con respecto a los estimados en los diseños de ciclorutas existentes.

Los manuales de diseño de ciclorutas de los países Holanda, México y España se consideran pioneros y han sido citados en el desarrollo de los demás manuales, estos contemplan parámetros técnicos en proyección de demanda de usuarios,

[1] CORTEZ, j. Uso de la bicicleta sigue creciendo en la ciudad, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, BOGOTÁ D.C. 2014. (consultado:09 de marzo de 2018) Disponible en internet: http://www.bogota.gov.co/content/uso-de-la-bicicleta-siguen-creciendo-en-la-ciudad

[2] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU). Infraestructura ciclo inclusiva. Bogotá D.C. 2012 (consultado: 12 de marzo de 2018) disponible en internet: https://www.idu.gov.co/page/cicloruta

dimensión de los vehículos y trazados geométricos de acuerdo con la importancia de la vía. Es así como esta investigación pretende relacionar los aspectos técnicos utilizados en los manuales de Diseño de Ciclorutas internacionales, y compararlos con los establecidos en el manual actual de la ciudad de Bogotá.

El presente estudio, pretende identificar los parámetros a nivel internacional para el diseño de ciclorutas y proponer alternativas de cambio en el manual actual de la ciudad de Bogotá, considerando que este tiene 20 años de elaboración y publicación, actualmente se deben contemplar criterios de diseño como señalización, tipos de bicicleta, sobre anchos en curvas, sobre anchos en pendientes, radios de giro, tipos de estructuras viales y continuidad en las redes de ciclorutas.

La investigación busca dar respuesta a la siguiente pregunta **¿cuáles son los parámetros técnicos de los manuales de diseño de ciclorutas a nivel internacional aplicables a las condiciones de la ciudad de Bogotá que permitan mejorar el manual actual de la ciudad?**

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros técnicos del Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá comparado con manuales internacionales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estado del arte de los manuales internacionales de diseño de ciclorutas de mayor relevancia.
- Establecer los parámetros técnicos utilizados en el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá y los manuales internacionales identificados en el estado del arte.
- Comparar los parámetros técnicos presentes en el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá con respecto a manuales internacionales.

3. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la presente investigación se presenta a continuación antecedentes, los cuales proporcionan a los investigadores soporte técnico que afiancen y aporten problemáticas similares en el tema de ciclorutas y los manuales de diseño creados para su planeación.

En Estados Unidos, Georgia en 2014 el investigador Jonathan E. Digioia[3] presentó una investigación con el patrocinio del departamento de transporte donde investiga y evalúa la seguridad de los ciclistas en este Estado. El desarrollo de esta tesis logró identificar los vacíos en la investigación de seguridad para bicicletas existentes, incluida la elaboración de suposiciones sobre la eficiencia en la protección al usuario que se moviliza por este medio y la falta de una buena infraestructura.

[3] DIGIOIA, Jonathan. Safety impacts of bicycle infrastructure: a critical review. Georgia Institute of Technology. Georgia. 2014.

Según la investigación presentada en la ciudad de Santiago de Chile, por el ingeniero Ismael Delorenzo y el Profesor Guillermo Thenoux[4], en el año 2015 para la Pontificia Universidad Católica de Chile donde hacen la evaluación del diseño de ciclovías en esta ciudad en comparación con estándares y normativas internacionales. Esta investigación contempló un área de estudio definido para poder delimitar los principales problemas o deficiencias y encontrar por medio de otros manuales internacionales las posibles soluciones y los autores llegan a la conclusión de las posibles mejoras de los diseños se pueden dar en cuanto a anchos de carril, radios de giro y señalización.

A nivel nacional en la ciudad de Bogotá D.C. En el año 2012 el investigador Casabianca Luis Miguel[5] presentó su trabajo de grado titulado "Movilidad Urbana: Estado y caracterización de la movilidad en bicicleta para las principales ciclorutas de las localidades de Usaquén y Chapinero", donde expone que debido a las necesidades de movilidad y a las evidentes falencias del sistema de transporte tanto público como privado en la ciudad de Bogotá, existe la necesidad de optar por un medio de transporte eficiente y económico que mejore sustancialmente la movilización en la ciudad. El estudio se centra en evaluar el estado de la movilidad en bicicleta para las localidades de Usaquén y Chapinero, evidenciando diferentes factores que afectan, limitan y condicionan la movilidad en bicicleta.

El libro presentado por el ingeniero Edder Velandia titulado “BICI –ON, LA BICI Y EL EBICKE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE SUSTENTABLE PARA BOGOTÁ”[6] en la ciudad de Bogotá D.C. En 2014, donde muestra las barreras para el uso masivo de la bicicleta como medio de transporte para la ciudad de Bogotá. En el desarrollo de este libro presenta la idea de movilidad sustentable, el avance de Bogotá en los medios de transporte, las limitantes de la bicicleta para Bogotá y el comportamiento de estas en las calles. De esta publicación se puede destacar todos los aspectos involucrados en la toma de información, los métodos comparativos empleados, como también las posibles soluciones a la problemática del transporte en bicicleta de la ciudad de Bogotá.

---

[4] DELORENZO y THENOUX. OP.CIT. Pg. 25.

[5] CASABIANCA, Luis Miguel. Movilidad Urbana: Estado y caracterización de la movilidad en bicicleta para las principales ciclorutas de las localidades de Usaquén y Chapinero. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 2012.

[6] VELANDIA, Edder. Bici-on, la bici y el ebicke alternativas de transporte sustentable para Bogotá. Universidad de la Salle. kreafit s.a.s. Bogotá D.C. 2014.

Los investigadores Chamorro y Rodríguez[7], en la ciudad de Bogotá D.C. en el año de 2015 realizaron un análisis comparativo de la operación de los sistemas de ciclorutas de diferentes ciudades y países con el de Bogotá, a través de un análisis comparativo de los marcos legales y documentos de soporte para la operación, construcción, mantenimiento y fomentación de los sistemas de ciclorutas, llegando a una conclusión principal la necesidad de promover el uso de la bicicleta como medio de transporte e intentar adaptar de alguna manera el modelo presentado por Holanda.

La investigación realizada en la ciudad de Bogotá para el año de 2016, por los investigadores Mora María Fernanda y Galvis Javier[8] en la cual comparan diferentes trazados de ciclorutas y bici carriles en la ciudad de Bogotá. Esta investigación tuvo como metodología la identificación de manuales y estado del arte de los bici carriles, la identificación de riesgo por medio de visitas de campo y, por último, la comparación de las características de cada una de estas. Llegando a concluir que las ciclorutas por andén presentan mayor cantidad de obstáculos e interferencias para los biciusuarios, y los bicicarriles por el contrario son la mejor respuesta para la movilidad en bicicleta, teniendo en cuenta características como velocidad de circulación, número de obstáculos e independencia en la vía.

[7] CHAMORRO Jairo y RODRÍGUEZ Andrea, análisis de la operación del sistema de ciclorutas en la ciudad de Bogotá, comparado con los modelos aplicados en Medellín, Chile, Guadalajara, Canadá y Holanda. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. D.C. 2015.

[8] MORA, María Fernanda y GALVIS, Javier Eduardo, Estudio comparativo entre ciclo-rutas y bici-carriles en Bogotá desde la infraestructura y la calidad del desplazamiento. Universidad de la Salle. Bogotá D.C. 2016.

4. JUSTIFICACIÓN

El uso de la bicicleta en la sociedad ha cambiado, hace 20 años el ciclista era considerado una persona de bajos recursos, debido al costo de adquirir un vehículo automotor o usar el transporte público, y dado que la bicicleta por su bajo costo de adquisición y mantenimiento está al alcance de la totalidad de la población[9], ahora esta concepción ha cambiado, el bogotano considera la bicicleta como medio de transporte alternativo que satisface otras necesidades como la movilidad, reducción de gastos de transporte, reducción de contaminación y con los cuales mejora su salud y calidad de vida entre otros, adicional a ello, estos cambios se ven reflejados en proyectos como "Al Colegio en Bici", "Al Trabajo en Bici", "Semilleros de la Bici" entre otros proyectos estratégicos de la Alcaldía para incentivar el uso de la bicicleta[10], estos planes han conllevado a que la Alcaldía de Bogotá pretenda construir una red de vías priorizadas para bicicletas en el cual se contempla la unión de los diferentes modos de transporte, para poder llegar a establecer este nuevo sistema unificado de transporte es pertinente establecer, comparar y analizar los criterios de diseño de las ciclorutas en las cuales se contemplan parámetros técnicos implementados en manuales internacionales aplicables a las condiciones de la ciudad de Bogotá.

El ingeniero civil, como principal responsable en la construcción de infraestructura vial y participante en la elaboración de manuales técnicos de diseño y los relacionados con transporte alternativos como la bicicleta, permite que los usuarios de las vías se movilicen en forma segura, con parámetros técnicos ajustados a requerimientos como lo son las áreas de diseño, anchos de carril o de vía, señalización y continuidad en las redes de ciclorutas. Es así como el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá elaborado y publicado en el año de 1999, no contempla actualmente criterios de diseño, en cuanto a tipos de vehículos, tipos de infraestructura, sobre anchos en curva, sobre anchos en pendientes y continuidad. Lo anterior permite que se realice una revisión y evaluación del manual de diseño de ciclorutas actual junto con un análisis comparativo con los parámetros técnicos de diseño en manuales internacionales.

---

[9] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU). Manual de diseño de ciclorutas. Bogotá D.C. 1999.

[10] SECRETARÍA GENERAL ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Pedaleando por Bogotá. Bogotá D.C. (consultado: 12 de marzo de 2018) disponible en internet: https://bit.ly/2GOeTDP

La investigación pretende a partir de los conocimientos adquiridos en la formación de ingeniería civil aportar en el mejoramiento de los manuales actuales con el desarrollo del presente proyecto.

5. MARCOS DE REFERENCIA

5.1 MARCO HISTÓRICO

La bicicleta nace en 1791 en París como la evolución de un juguete por el conde Mede de Sivrac, este elemento no era considerado como un medio de transporte ya que no contaba ni con dirección ni con pedales para impulsarse, simplemente se basa en sostener el equilibrio y empujarse con los pies en el suelo; pero la bicicleta tal como se conoce fue desarrollada hacia 1879 por los señores Guilmet y Harry John Lawson, los cuales le incluyen a la bicicleta antigua la transmisión por cadena (plato y piñón).

A finales del siglo XIX llega a Colombia la bicicleta por los europeos inmigrantes, los cuales traen el velocípedo. Unos años después 1984 se realiza la primera carrera de velocípedos en Bogotá y en 1996 las empresas europeas y estadounidenses Columbia y Hartford traen al mercado la bicicleta para paseos recreativos y carreras de los bogotanos acaudalados. La industria Ford en 1925 le da la importancia a la bicicleta para que sea utilizada a nivel general en las diferentes clases sociales.

En el año 1990 Bogotá comienza a pensar en otros medios de transporte, la Alcaldía de la Ciudad de Santa Fe de Bogotá, planteó la posibilidad de crear un sistema alterno de movilidad con el fin de conectar más los barrios de la ciudad y ofrecer otra opción para suplir las necesidades de transporte, creando una red de ciclorutas permanentes que conectaran no solo los barrios si no los parques y zonas verdes.[11] En el año 1998 con la alcaldía de Enrique Peñaloza (1998-2000) las ciclorutas son incluidas en el plan de desarrollo de la ciudad y este mismo año se comienza la construcción de la red de ciclorutas a lo largo de la ciudad, este proyecto se propuso como meta la construcción de 80 km de ciclorutas articuladas a la malla vial junto con el espacio público,[12] igualmente, la ciudad crea unos planes estratégicos que consisten en incrementar la movilidad urbana, apoyar el mejoramiento del transporte, reducir la contaminación y la congestión vehicular; el plan maestro de ciclorutas incluye la elaboración del manual de ciclorutas que

[11] CASABIANCA. OP.CIT. Pg. 50.

[12] MARTIN, Gerard y Ceballos, Miguel. Bogotá: anatomía de una transformación. Políticas de seguridad ciudadana 1995-2003. 2004. p.304.

proporciona los parámetros y políticas generales que se deben tener presentes para la elaboración del diseño definitivo de las Ciclorutas.[13]
La red de ciclorutas de la ciudad de Bogotá D.C. está conformada por 344 km de vías priorizadas para el uso de la bicicleta,[14] con aplicación del Manual de Diseño de Ciclorutas de la ciudad. El Banco Interamericano de Desarrollo, indicó que para el año 2013 la población tiene como uso alternativo de transporte la bicicleta, siendo el 2,0% de los bogotanos quienes la utilizan para movilizarse.[15]

5.2 MARCO TEÓRICO

El Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá, es el conjunto de parámetros técnicos y políticas generales necesarias para el diseño y construcción de las ciclorutas. Este manual contempla los parámetros de diseño geométrico básicos como lo son; anchos de carril, velocidad de diseño, radios de giro, peraltes, pendientes, señalización e intersecciones entre otros. Pero estos parámetros varían dependiente del tipo de ciclorutas a diseñar, la infraestructura de las ciclorutas actuales se conforma básicamente en redes de ciclorutas en sitio propio, en andén, en vía compartida y de estacionamiento o una combinación de estas, diferenciándose cada una de ellas en el lugar donde están implantadas, las cuales se definen a continuación (de acuerdo con lo planteado en el Manual de Diseño de Ciclorutas)

5.3 COMPONENTES TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE CICLORUTAS

En este apartado se realizará la definición de ciertos parámetros de diseño según el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá.

5.3.1 Tipos de ciclorutas

- Cicloruta en sitio propio o en andén: son las vías separadas de las calles o segregadas del tráfico de vehículos motorizados por un espacio abierto o una barrera.

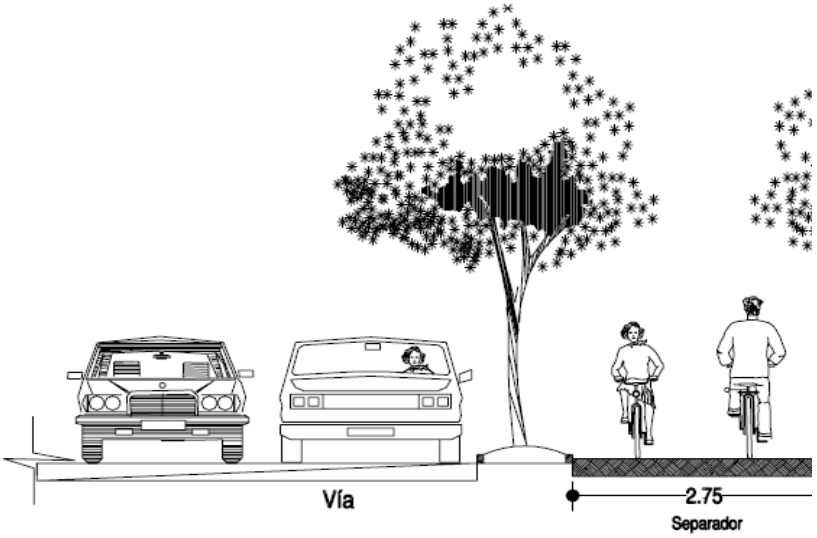
---

[13]PRADA. OP.CIT. Pg. 33.

[14] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Infraestructura ciclo inclusiva. Bogotá D.C. (consultado 30 de marzo de 2018) Disponible en Internet: <URL: http://http://www.idu.gov.co/web/guest/espacio_ciclorutas>.

[15] BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Biciudades. 2013. disponible en internet:<http://www.vanguardia.com/sites/default/files/informe_uso_de_las_bicicletas.pdf>

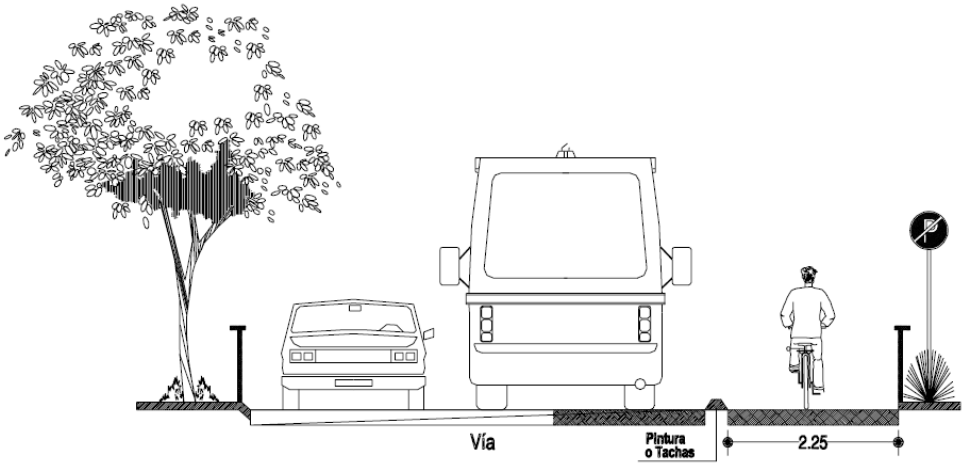
Figura 1. Cicloruta en andén



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

- Cicloruta en vía compartida: consisten en separar un espacio exclusivo de la calzada destinada a tráfico motorizado, también son conocidas como fajas para ciclistas.

Figura 2. Cicloruta en vía compartida



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

- Bulevar para bicicletas: es una calle con bajo volumen de tráfico en la cual se priorizan el uso de tráfico de bicicletas, este tipo de ciclorutas requiere medidas para pacificación del tráfico.

Figura 3. Bulevar para bicicletas

Fuente Diario de Occidente, Cali Colombia.2018.

- Vías compartidas: son aquellas donde los conductores y ciclistas poseen iguales espacios dentro de la misma vía.

Figura 4. Vía compartida

Fuente: Propia

La selección de cualquiera de las tipologías de ciclorutas depende principalmente de las dimensiones de la vía existente o a construir, de los volúmenes y velocidades del tráfico vehicular, volumen previsto de usuario de ciclistas y el entorno urbano.

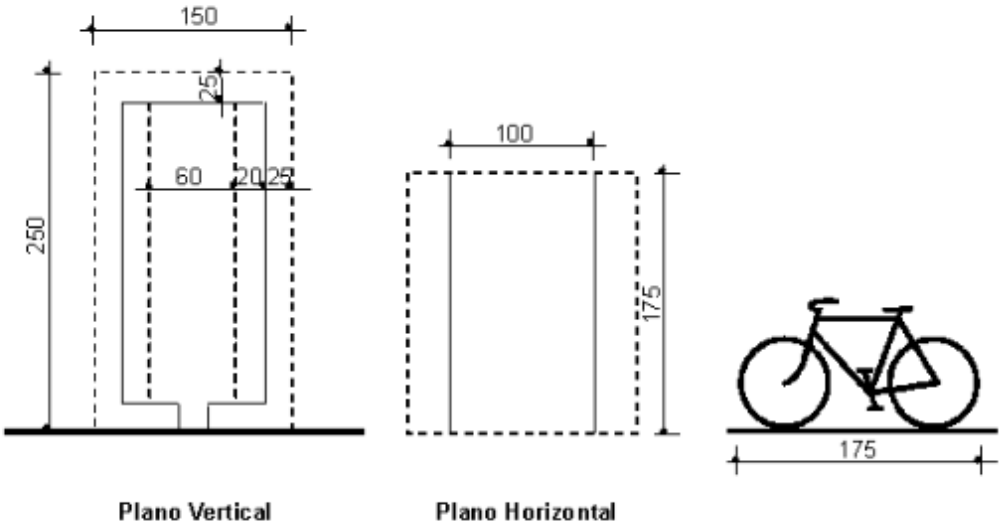
5.3.2 Espacio útil del ciclista

Corresponde a las dimensiones necesarias para la circulación y maniobrabilidad del ciclista, para todos los tipos de vías de uso exclusivo de bicicletas las dimensiones son:

- Ancho :1,00 m
- Largo :1,75 m
- Alto :2,25 m

Tal como se puede observar en la figura 5, la bicicleta tiene un largo promedio de 1,75 m, de borde de llanta trasera a borde de llanta frontal; el ancho corresponde a 0,6m, esté siendo la medida promedio del manubrio de la bicicleta a los cuales se les debe adicionar las dimensiones de maniobrabilidad a cada costado de 0,2m y la altura de la bicicleta que generalmente es de 1,0m se debe adicionar la altura del usuario dando como altura segura de 2,25m.

Figura 5. Dimensiones de la bicicleta



Fuente: Manual de Diseño de ciclorutas de la ciudad de Bogotá D.C.

5.3.3 Anchos de carril

Corresponde a las dimensiones de las vías dispuestas para las bicicletas teniendo en cuenta los espacios de circulación, dentro de este ancho de carril se tiene el espacio útil del ciclista el cual según el Manual de Diseño de Ciclorutas de la ciudad de Bogotá se define como una figura prismática de 1.0m de ancho, 1,75m de largo y 2,25m de alto.

Tabla 1. Anchos de carril dependiendo de tipo de ciclorutas

TIPO DE CICLORUTA	ANCHOS DE CARRIL
Pistas o fajas ciclísticas	2.25 m
Ciclorutas unidireccionales	2.25 m
Ciclorutas bidireccionales	2.75 m
Cicloruta por anden	2.50 m
Fuente: propia	

Las dimensiones de los anchos de carril dependerán del tipo de ciclorutas.

5.3.4 Velocidad de diseño

Este parámetro contempla la velocidad promedio a la cual debe circular una bicicleta por dicha cicloruta, normalmente se trabaja con una velocidad de diseño de 30km/h en terrenos planos y dependiendo de la pendiente del terreno se aumenta con el fin de diseñar apropiadamente los radios de giro, peraltes y ubicación de la señalización.
En la Tabla 2, se presentan las velocidades aconsejables dependiendo de la pendiente y la longitud de esta, a menor pendiente y menor longitud, menor velocidad de diseño; a mayor pendiente y mayor longitud, mayor velocidad de diseño.

Tabla 2. Velocidad de diseño dependiendo de la pendiente

PENDIENTE (%)	LONGITUD (metros)		
	25 a 75	75 a 150	>150
3 a 5	35 km/h	40 km/h	45 km/h
6 a 8	40 km/h	50 km/h	55 km/h
9	45 km/h	55 km/h	60 km/h
Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C			

5.3.5 Pendientes

Las pendientes de diseño son las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido longitudinal del eje de la vía. Estas pendientes dependen directamente de la longitud del desnivel y van desde el 1.7% al 10%. De las pendientes de diseño también dependen las longitudes de pendientes y los sobre anchos.
En la Tabla 3, se expresan las pendientes máximas y normales las cuales se seleccionan a partir del desnivel a superar, teniendo pendientes desde 1,7 % hasta un 10%.

Tabla 3. Pendientes a partir de desnivel

DESNIVEL QUE SE DEBE SUPERAR (m)	PENDIENTE	
	NORMAL (%)	MAXIMA (%)
2	5,0	10,0
4	2,5	5,0
6	1,7	3,3
Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C		

5.3.6 Radios de giro o de curvatura

Son las dimensiones necesarias para realizar un cambio de dirección, estos radios se calculan en función del peralte, el coeficiente de fricción entre la bicicleta, el pavimento y la velocidad de diseño. Para el cálculo de este parámetro se utiliza la Ecuación 1, la cual relaciona los radios de giro con la velocidad de diseño con los peraltes y los coeficientes de fricción de la superficie de rodadura.

$$R = \frac{V^2}{12 + (\mathrm{e} + F)}$$

Ecuación 1. Radio de giro
Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

Dónde:
R: radio de curvatura (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
e: peralte (m/m)
F: coeficiente por fricción

5.3.7 Peraltes

Son las diferencias de alturas entre la parte inferior y superior en una curva con el fin de contrarrestar la fuerza centrípeta del cambio de dirección, los peraltes nunca deben exceder el 12% y cuando las pendientes superen el 4% el peralte no debe superar el 8% con el fin de disminuir la sensación de incomodidad en la pendiente.

5.3.8 Distancia de visibilidad

La distancia que un ciclista requiere para detenerse completamente al observar un obstáculo es un factor que se debe aplicar en el diseño. Esta distancia es una función del tiempo de la percepción y reacción del ciclista, el estado de la superficie, el coeficiente de fricción, la pendiente y la velocidad de diseño, es calculada a partir de la Ecuación 2.

Ecuación 2. Distancia de visibilidad

$$S = \frac{V^2}{255(\mathrm{G} + F)} + 0.694V$$

Fuente: Manual de Diseño de ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

Dónde:
S: distancia de visibilidad (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
F: coeficiente de fricción
G: pendiente (%)

5.3.9 Longitud de curva vertical

La mínima longitud requerida, para suministrar un adecuado campo de visión es una función de la visibilidad y la diferencia algebraica entre pendientes a cada lado de la cresta. La longitud en metros de la curva, debe ser menor a 0,38 veces el número de Km/h de la velocidad de diseño; la Ecuación 3 y Ecuación 4 se usan para determinar la mínima longitud de curva vertical y esta depende directamente de la diferencia de pendientes y la distancia mínima entre señales.

Ecuación 3. Longitud curva vertical cuando S>L

$$L = 2s - \frac{200\left[\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}\right]^2}{A}$$

Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

Ecuación 4. Longitud curva vertical cuando S<L

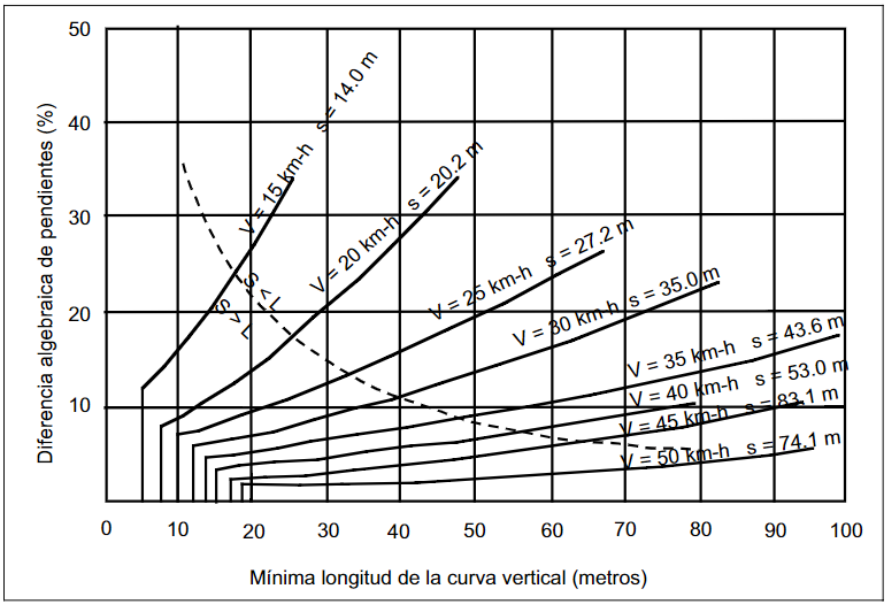
$$L = \frac{AS2}{100\left[\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2}\right]^2}$$

Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

Dónde:
L: longitud mínima de curva vertical (m)
S: distancia mínima de señales (m)
A: diferencia algebraica de pendientes (m)
H1: igual a 1,40 m (altura de los ojos del ciclista)
H2: igual a 0,0 m (altura del objeto)

En la figura 6, se muestra la relación de las pendientes vs longitud de la curva, esta longitud depende directamente de la velocidad de diseño utilizada, a mayor pendiente y menor velocidad de diseño, se obtiene la mínima longitud de curva vertical; esto se ve relacionado en que, a mayor velocidad de diseño, se requiere mayor longitud de la curva vertical para cumplir los estándares de seguridad.

Figura 6. Longitud de curva vertical



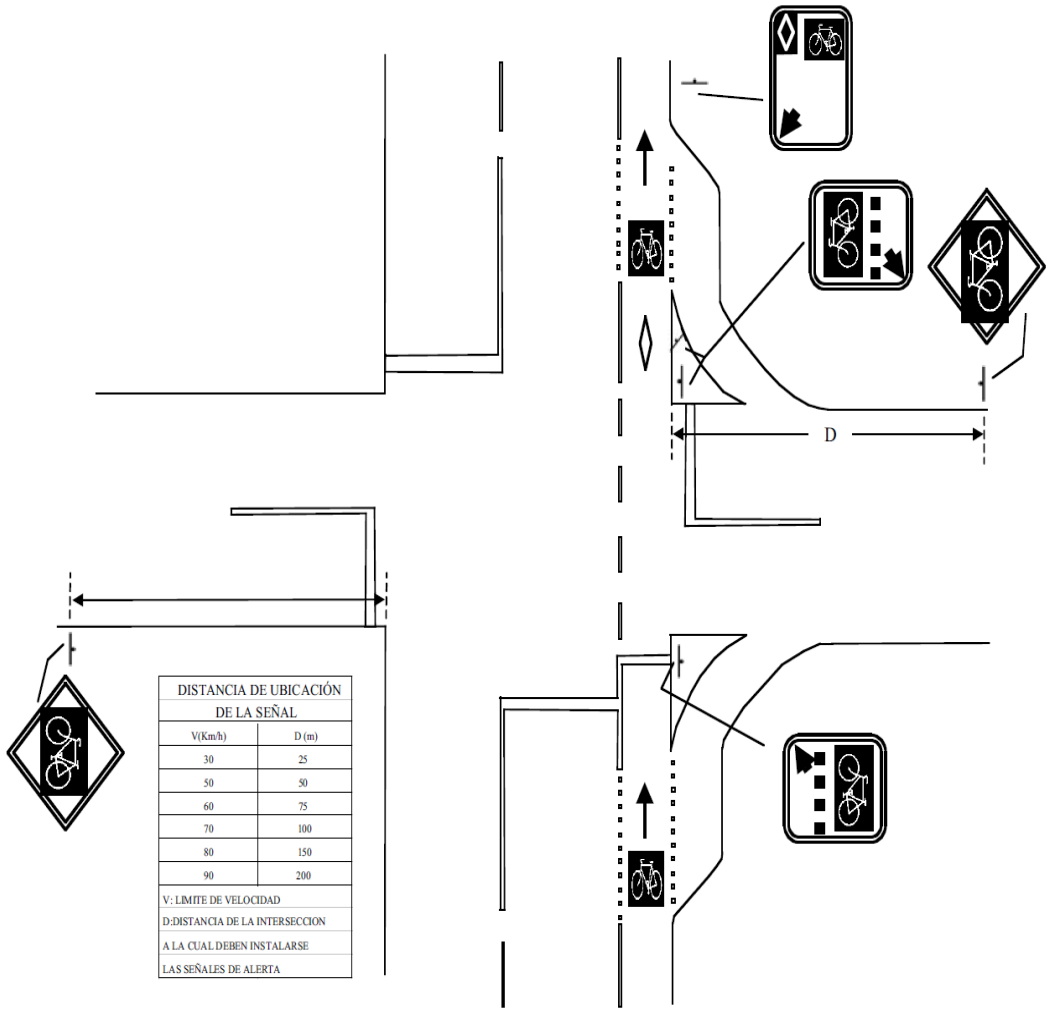
Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

5.3.10 La intersección con otros modos de transporte

El Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá detalla este aspecto técnico en gráficas de geometría y en las técnicas de pacificación del tránsito de los vehículos no automotores y la señalización para generar vías seguras para los usuarios.
A continuación, se presentan algunas de estos esquemas para la circulación segura de los ciclistas en la intersección con otros medios de transporte, estas imágenes incluyen ubicación de señalización y ciertas formas de mitigación del tráfico.

En la figura 7, el manual de diseño de ciclorutas de la ciudad de Bogotá presenta la forma en que se debe construir una cicloruta en la intersección de una vía de volumen vehicular bajo, presenta la señalización mínima requerida para un tráfico ciclista seguro.

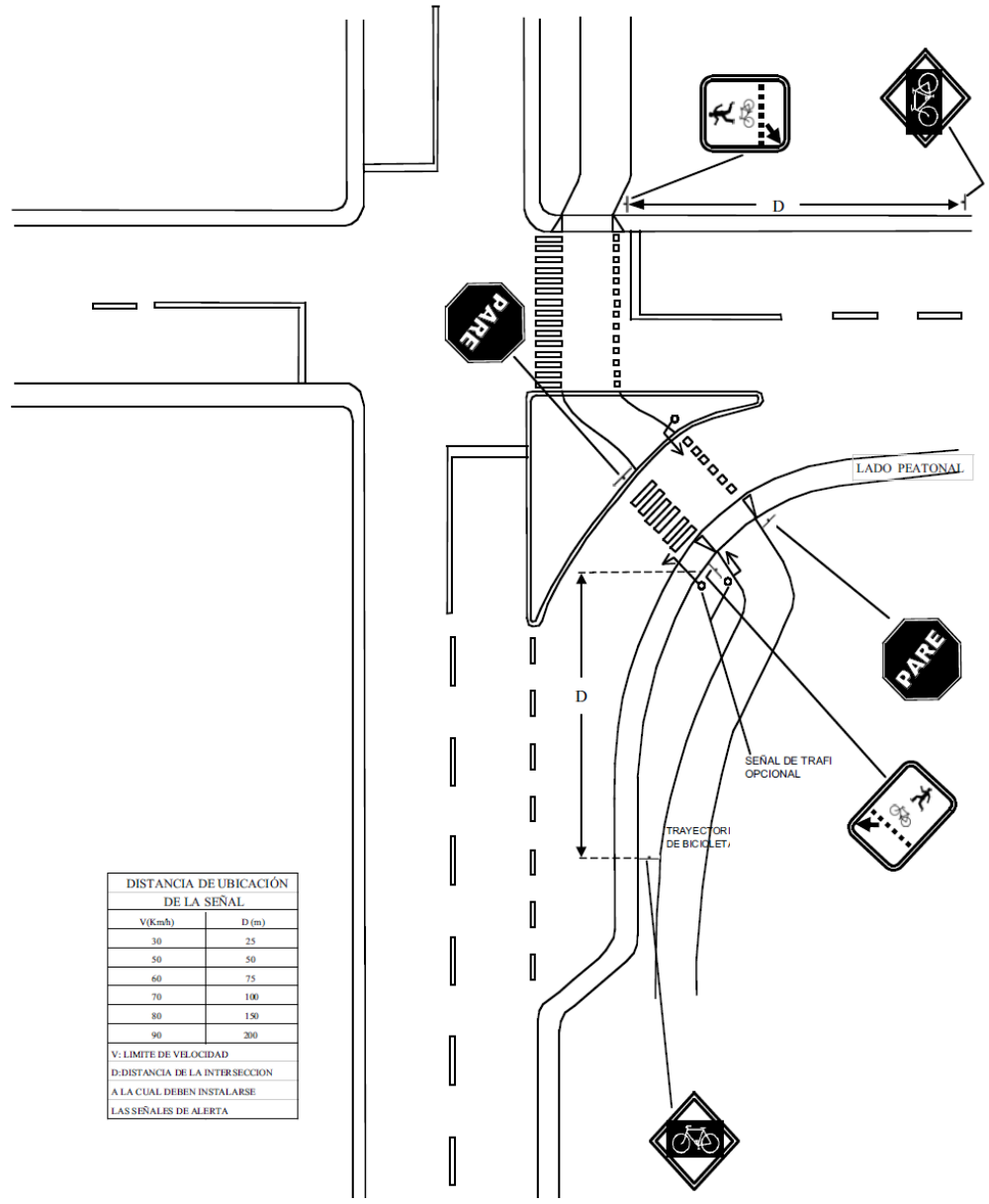
Figura 7. Intersección de una calzada de bicicleta y una rampa de acceso de volumen bajo



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

En la figura 8, se presenta el esquema de una cicloruta con intersección de una vía vehicular de alto tráfico, las distancias de ubicación de las señalizaciones de tránsito y los espacios requeridos para el tráfico de ciclistas de una forma cómoda y segura.

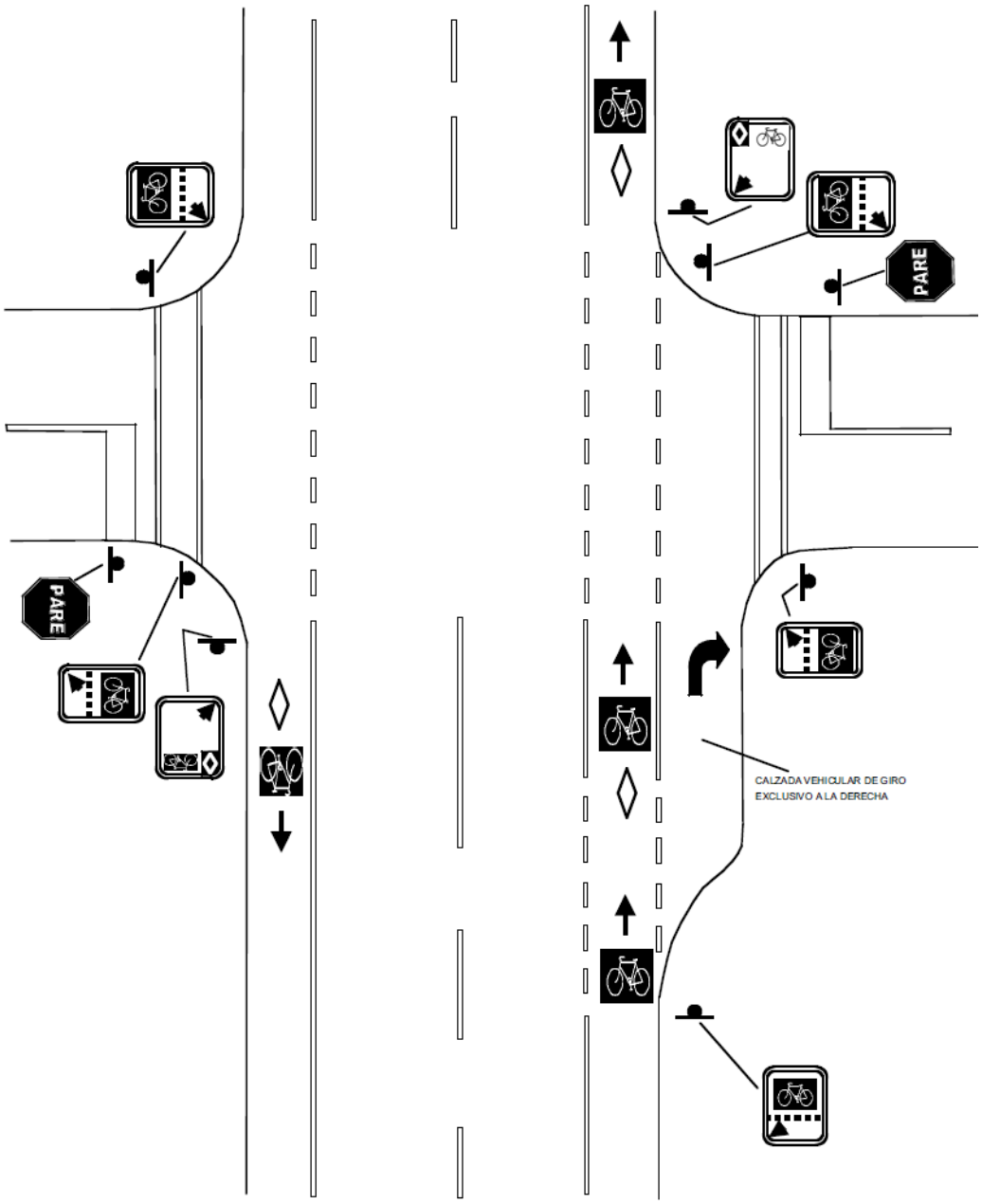
Figura 8. Intersección de una trayectoria de bicicleta y una rampa de acceso de alto volumen



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

La figura 9, presenta el esquema de una calzada bidireccional de bicicletas con intersección de una calzada vehicular con giro exclusivo a la derecha, en esta grafica se presentan la forma de continuar una vía ciclística de forma segura por medio de señalización horizontal y demarcación tanto para vehículos automotores como para biciusuarios.

Figura 9. Calzada unidireccional de bicicleta con calzada vehicular de giro exclusivo a la derecha

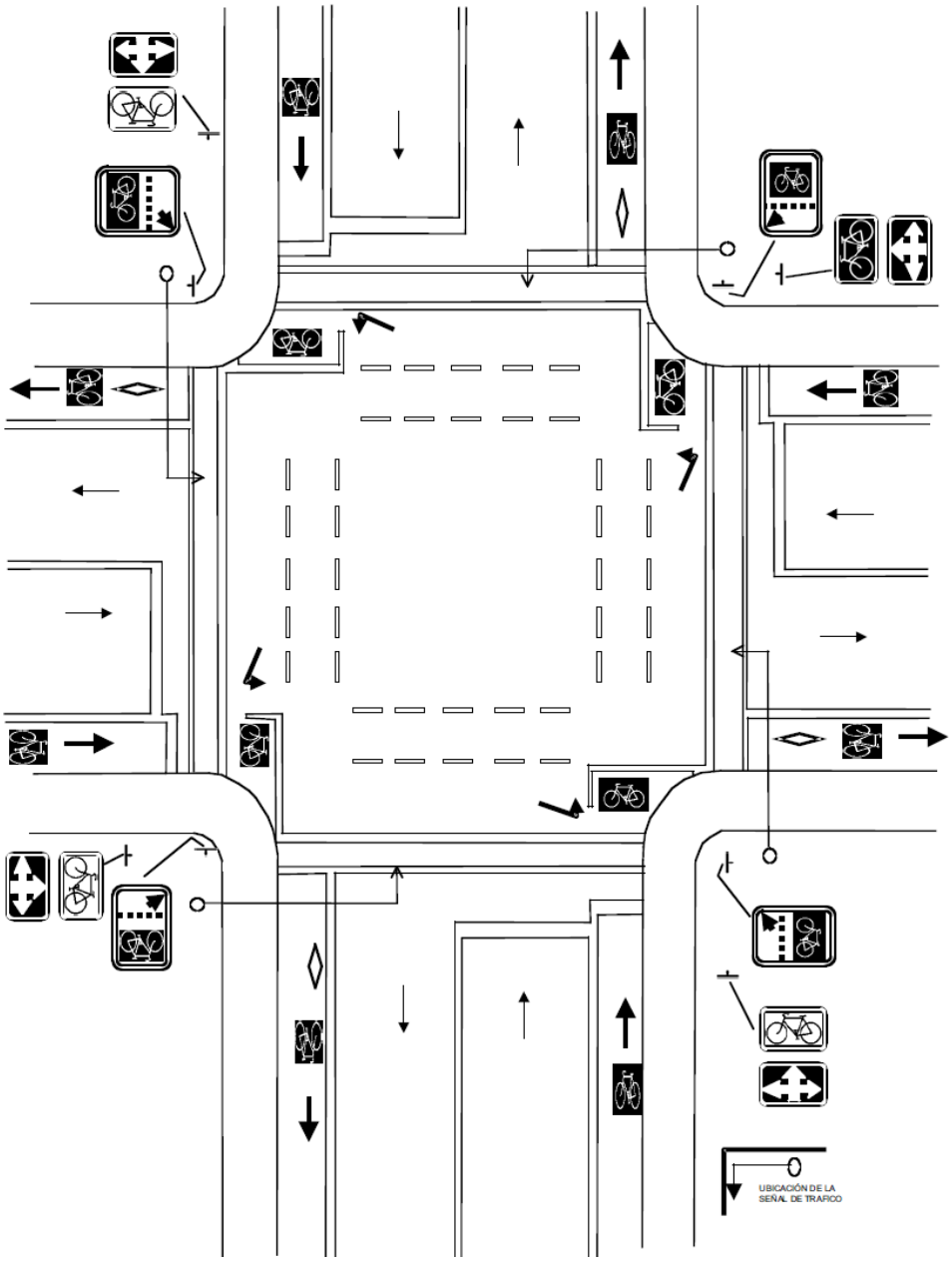


Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

En la figura 10, se presenta una intersección de mayor tráfico y complejidad donde se cuenta con una intersección de cuatro calzadas unidireccionales, en esta

imagen se presentan las islas de refugio para ciclistas y las señalizaciones necesarias.

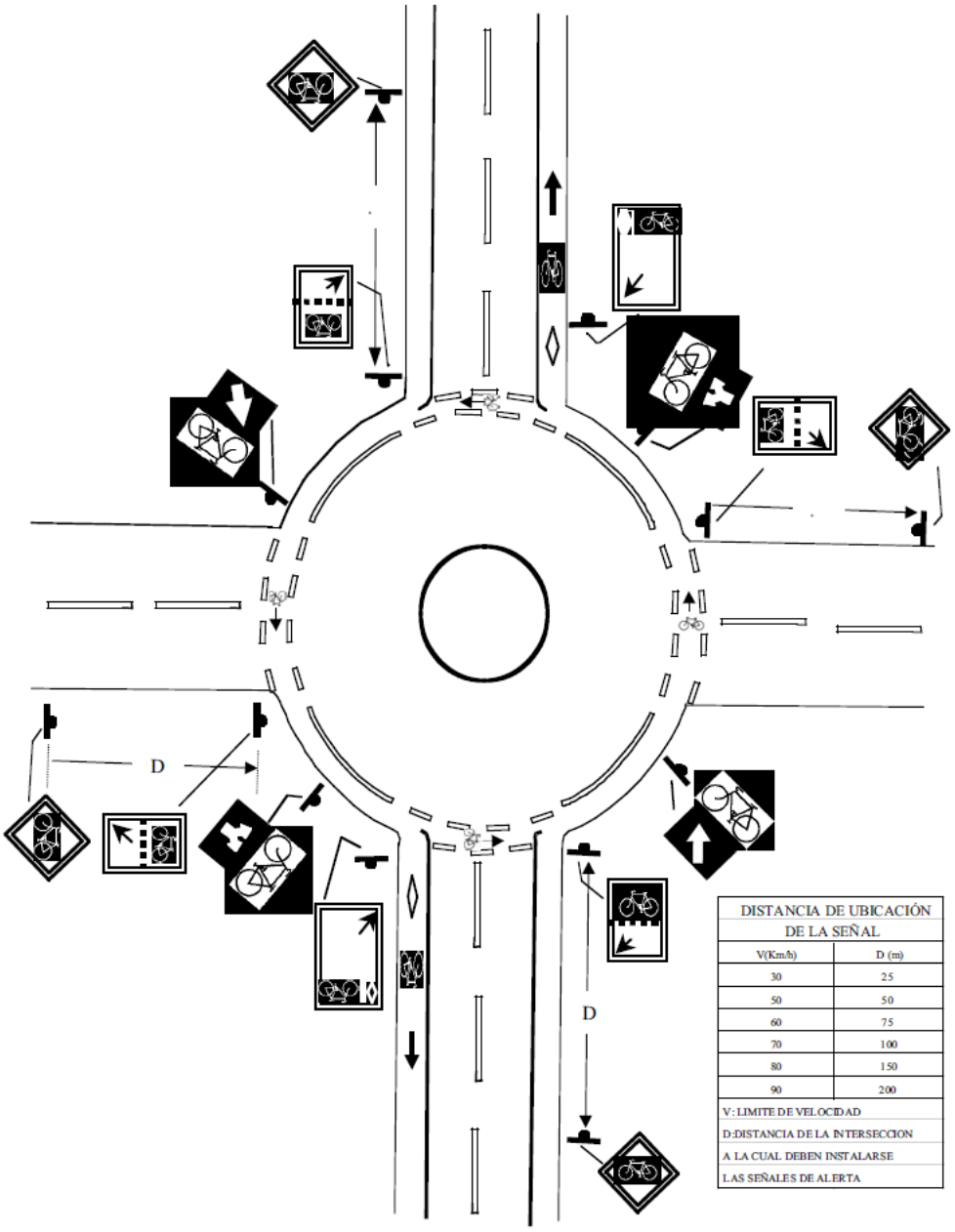
Figura 10. Intersección de cuatro calzadas unidireccionales de bicicletas con señales de tráfico y con islas de refugio (tráfico pesado)



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

La figura 11, presenta un esquema de circulación de bicicletas en rotonda vehicular junto con las señalizaciones y demarcaciones necesarias junto con las dimensiones mínimas dependiendo de las velocidades de tráfico vehicular.

Figura 11. Calzada de bicicleta en una intersección rotatoria



Fuente: Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá D.C.

5.4 MARCO GEOGRÁFICO

El área geográfica en la que se desarrolló esta investigación es la ciudad de Bogotá, la cual se encuentra subdividida administrativamente por 20 localidades, las cuales se relacionan en la tabla número 4, se identifica la superficie y población de acuerdo al último censo realizado en el año 2005.

Tabla 4. Distribución administrativa de Bogotá

LOCALIDAD	ZONA	SUPERFICIE (KM2)	POBLACIÓN 2005
Usaquén	1	65.31	501 999
Chapinero	2	38.15	139 701
Santa Fe	3	45.17	110 048
San Cristóbal	4	49.09	404 697
Usme	5	215.06	457 302
Tunjuelito	6	9.91	199 430
Bosa	7	23.93	673 077
Kennedy	8	38.59	1 088 443
Fontibón	9	33.28	394 648
Engativá	10	35.88	887 080
Suba	11	100.56	1 218 513
Barrios Unidos	12	11.9	243 465
Teusaquillo	12	14.19	153 025
Los Mártires	14	6.51	99 119
Antonio Nariño	15	4.88	109 176
Puente Aranda	16	17.31	258 287
La Candelaria	17	2.06	24 088
Rafael Uribe Uribe	18	13.83	374 246
Ciudad Bolívar	19	130	707 569
Sumapaz	20	780.96	6 531
Fuente: propia			

Para el ingreso o la salida la ciudad cuenta con seis vías principales provenientes de todos los puntos cardinales:

Por el norte: el acceso es a través de la autopista Norte que llega del departamento de Boyacá y municipios cundinamarqueses como Tocancipá, Briceño y Chía. A la altura del Parque Jaime Duque, a la autopista Norte se une la ruta de Ubaté y Nemocón.

Por el occidente: la entrada es por la autopista Medellín que viene del departamento del Tolima y la Vega en Cundinamarca. La entrada por la calle 13 llega de Facatativá y Mosquera.

Por el oriente: la vía proveniente de los Llanos Orientales y Villavicencio.

Por el sur: La Autopista Sur que une a la capital con Soacha, Sibaté, Silvania y Fusagasugá. Hay otra carretera que pasa por el Salto del Tequendama y Mesitas del Colegio. Estas vías recorren la geografía nacional en todas sus direcciones y comunican a Bogotá las diferentes ciudades del territorio nacional.
La ciudad cuenta con varias vías principales cómo: la avenida primero de mayo, carrera séptima, calle 26, NQS, avenida Boyacá, avenida carrera 68, calle 80, avenida suba, avenida Caracas, carrera décima, entre otras, las cuales permiten el desplazamiento de los habitantes de la ciudad diariamente.
Los medios de transporte utilizados por la población son carros, motos, taxis, buses de transporte público tradicionales, el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), un sistema de Buses de Tránsito Rápido (BRT) más conocido como Transmilenio y las bicicletas.

Figura 12. Avenidas principales de Bogotá

Fuente http://smpmanizales.blogspot.com/2010/05/bogota-un-metro-sin-vision-en-vez-de.html?m=1

La red vial de ciclorutas para la ciudad de Bogotá, cuenta con un aproximado de 344 kilómetros de vía hasta el último inventario realizado por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el año 2012, esta red vial ciclística se encuentra subdividida en bici carriles, ciclorutas sobre andén, ciclo bandas, entre otras.

Figura 13. Red de ciclorutas de Bogotá

Fuente http://www.simur.gov.co/documents/10180/100374/Plan+Bici/cc9f22a4-4375-4f22-8aaf-c3229d31f3d6

5.5 MARCO LEGAL

Para la aplicación de la investigación se tienen en cuenta algunas leyes y reglamentos establecidos por el gobierno a partir de los cuales se fundamenta el proyecto de investigación. Dentro de estas leyes y decretos se encuentra lo que concierne a la construcción, diseño, operación y mantenimiento de las ciclorutas, como lo son:

- Ley 388 de 1997; ley de ordenamiento territorial: Además de las disposiciones generales en materia de aprovisionamiento de los sistemas estructurantes en el desarrollo urbano y territorial, establece la obligatoriedad que tienen todos los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Planes Básicos de Ordenamiento Territorial (PBOT) o Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) de señalar y delimitar en forma detallada por lo menos la localización de la Infraestructura para vías y transporte a partir de un ejercicio de planificación. (Ministerio de Hacienda y

Crédito Público, Ministerio de Desarrollo Económico, & Ministerio del Medio Ambiente, 1997).[16]

- Decreto 1504 de 1998; por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los Planes de Ordenamiento Territorial. Define los componentes de los perfiles viales, así como los elementos complementarios del espacio público dentro de los que incluyen elementos de señalización vial para prevención, reglamentación, información, marcas y varias. El artículo 5 habla de elementos complementarios del espacio público dentro de los que incluye elementos de señalización vial para prevención, reglamentación, información, marcas y varias. (Decreto 1504 de 1998: Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial., 1998).[17]

- Ley 769 de 2002; Código Nacional de Tránsito y Transporte de Colombia. En éste se definen los vehículos, normas de circulación para ellos y otros aspectos de tránsito y tráfico del país. El capítulo V se refiere a ciclistas y motociclistas y sus normas de circulación, el artículo 95 a normas específicas para el uso de bicicletas y triciclos. (Ministerio de Transporte de Colombia, 2002).[18]

- Decreto 1538 de 2005, Se refiere a a) El diseño, construcción, ampliación, modificación y en general, cualquier intervención y/u ocupación de vías públicas, mobiliario urbano y demás espacios de uso público; y b) El diseño y ejecución de obras de construcción, ampliación, adecuación y modificación de edificios, establecimientos e instalaciones de propiedad pública o privada, abiertos y de uso al público. En su artículo 8 establece definiciones clave como rampa, vado, vías de circulación peatonal, paramento, símbolos de accesibilidad, accesibilidad en las vías públicas (entre otros). (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).[19]

---

[16] COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO Y MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 388. (18, julio, 1997) ley de ordenamiento territorial.

[17] COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1504. (04, agosto, 1998) Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial.

[18] COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Ley 769. (06, agosto, 2002) Código Nacional de Tránsito y Transporte de Colombia.

[19] COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1538. (17, mayo, 2005) por el cual se reglamenta parcialmente la ley 361 de 1997.

- Decreto distrital 319 de 2006; plan maestro de movilidad. Por el cual se adopta el Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital, que incluye el ordenamiento de estacionamientos, promociona el transporte no motorizado y se proyecta una optimización de la red de ciclorutas de la ciudad de Bogotá D.C. [20]

- Acuerdo 346 de 2008; Uso de la bicicleta como servicio de Transporte. Por el cual se implementa el uso de la bicicleta como servicio de transporte integrado al Sistema de Movilidad del Distrito Capital.[21]

- Decreto 798 de 2010; reglamentación de los estándares urbanísticos básicos para el desarrollo de los equipamientos y los espacios públicos, necesarios para su articulación con los sistemas de movilidad, principalmente con la red peatonal y de ciclorutas que complementen el sistema de transporte y se establecen las condiciones mínimas de los perfiles viales al interior del perímetro urbano de los municipios y distritos que hayan adoptado plan de ordenamiento territorial. Algunos artículos relevantes: Artículo 7. Elementos de los perfiles viales. Artículo. 8 estándares para andenes Artículo 9. Estándares para ciclorutas Artículo 11. Estándares para los cruces peatonales a desnivel Artículo 12. Construcción del Perfil Vial. (Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).[22]

- Decreto distrital 309 de 2009; por medio del cual se adopta el sistema integrado de trasporte público de la ciudad de Bogotá, se establece la operación, las tarifas y otras disposiciones con los demás medios de transporte.[23]

- Decreto distrital 397 de 2010; por medio del cual se adopta el plan distrital de seguridad vial para Bogotá, se definen los factores involucrados en el tráfico, se

---

[20] COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Decreto distrital 319. (15, agosto, 2006) Por el cual se adopta el Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital.

[21] COLOMBIA. CONCEJO DE BOGOTÁ. Acuerdo 346. (23, diciembre, 2008) Por el cual se implementa el uso de la bicicleta como servicio de transporte integrado al Sistema de Movilidad del Distrito Capital.

[22] COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 798. (11, marzo, 2010) por medio del cual se reglamenta parcialmente la ley 383 de 2006.

[23] COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Decreto distrital 309. (23, julio, 2009) por medio del cual se adopta el sistema integrado de trasporte público de la ciudad de Bogotá, se establece la operación, las tarifas y otras disposiciones con los demás medios de transporte.

establecen las entidades responsables de la implementación del plan de seguridad vial y los mecanismos de control y evaluación.[24]

[24] COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Decreto distrital 397. (20, septiembre, 2010) por medio del cual se adopta el plan distrital de seguridad vial para Bogotá.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un enfoque cualitativo pues ofrece la posibilidad de obtener características generales a partir de un estado del arte y exploración de diferentes manuales técnicos del área de ciclorutas, además de que facilita la comparación entre estudios similares.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es comparativo, puesto que se deben realizar comparaciones de los conceptos y características generales de diseño presentes en diferentes manuales de diseño de ciclorutas teniendo como base las condiciones de la ciudad de Bogotá.

6.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Los elementos utilizados para el desarrollo de la investigación fue la recopilación de información secundaria necesaria para realizar el estado del arte de algunos manuales internacionales y compararlo con las condiciones de la ciudad de Bogotá. Para esto se requiere conocer las características generales del actual manual de ciclorutas de Bogotá, identificar los parámetros técnicos utilizados en los manuales internacionales y generar una matriz comparativa con la información anteriormente recopilada. También la construcción de una matriz comparativa de características generales obtenidas de la revisión documental de los manuales internacionales, teniendo como base de comparación las características de la ciudad de Bogotá.

6.4 FASES DE INVESTIGACIÓN

FASE 1

Estado del arte de manuales de diseño y/o construcción, documentos reglamentarios, trabajos de grado y artículos de investigación relacionados con las ciclorutas en los países que son considerados pioneros en el tema.

FASE 2

Analizar los parámetros de diseño de los diferentes manuales internacionales identificados en el estado del arte.

FASE 3

Comparación de parámetros técnicos de cada uno de los manuales internacionales por medio de una matriz comparativa teniendo como base las características de la ciudad de Bogotá.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. REVISIÓN TÉCNICA DE MANUALES DE DISEÑO DE CICLORUTAS A NIVEL INTERNACIONAL

En el desarrollo de este capítulo se realiza la búsqueda de manuales internacionales que aportarán a la investigación, manuales que son considerados pioneros o de gran envergadura en su país de desarrollo e incluso referenciados para la elaboración de otros manuales.

7.1.1. MANUAL DE DISEÑO DE TRÁFICO DE BICICLETAS DE HOLANDA (CROW)

El Manual de Diseño para el tráfico de Bicicletas (CROW)[25] de Holanda fue publicado en abril de 2006 elaborado por el CROW que es una plataforma nacional de información y tecnología para la infraestructura, el tráfico, el transporte y espacio público de Holanda.
Este manual trata aspectos como: las consideraciones en la planificación de facilidades para la bicicleta, el diseño funcional, la información básica, las ciclorutas y redes, las secciones de calles, las intersecciones, el diseño, el mantenimiento, la infraestructura y los estacionamientos de bicicletas. Estos capítulos agrupan los aspectos más básicos para el diseño y el correcto funcionamiento de las redes de ciclorutas.
Los siguientes son los parámetros determinantes de diseño a tener en cuenta en la presente investigación:

7.1.1.1. Dimensiones de las bicicletas

Las bicicletas están diseñadas en diversas formas y tamaños, lo que hace difícil que los diseñadores puedan basar su trabajo en dimensiones promedio. Sin embargo, los requisitos reglamentarios conforman un marco importante; este manual contempla algunas características especiales en cuanto a las dimensiones de las bicicletas.

- Ancho máximo de bicicleta con o sin equipaje 0,75 m
- Ancho máximo de triciclo de 1,50 m.

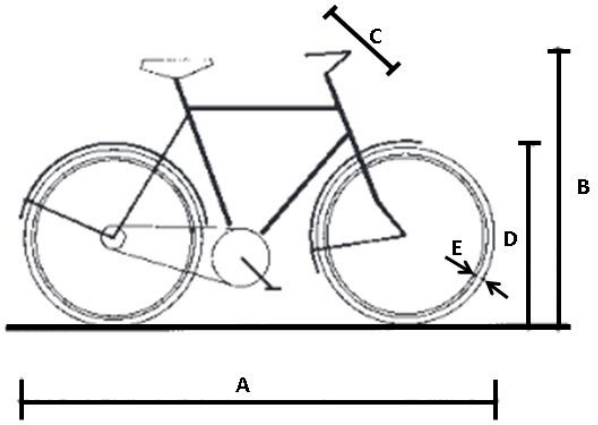
[25] CROW, Manual de diseño de tráfico de bicicletas de Holanda, Holanda. 2006.

Tabla 5. Dimensiones de la bicicleta

TIPO DE BICICLETA	LONGITUD (A)	ALTURA (B)	ANCHO DEL MANUBRIO (C)	TAMAÑO DE LA RUEDA INLCUIDO EL NEUMATICO (D)	GROSOR DEL NEUMATICO (E)
Bicicleta de turismo para adultos	180 - 195	100 - 120	50 - 60	66 - 72	3.7 - 4.0
Bicicleta de carrera para adultos	170 - 190	100 - 120	45 - 60	66 - 72	2.5 - 3.0
Bicicleta de montaña o mountain	170 - 190	95 - 110	60 - 65	66 - 72	4.0 - 5.0
Bicicleta de niño	150 - 170	80 - 100	50 - 55	51 - 62	3.6 - 3.8
Bicicleta reclinada	170 - 220	40 - 60	60 - 70	-	-

Fuente: Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas (CROW) Holanda

Figura 14. Dimensiones de la bicicleta



Fuente: Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas de Holanda (CROW)

7.1.1.2. Velocidad de diseño

Para este parámetro de diseño el manual contempla diferentes factores como lo son las características del ciclista, las propiedades de la bicicleta, las pendientes y condiciones ambientales dado que estas varían la velocidad de circulación, y por lo tanto deben ser tomadas en cuenta en el cálculo de la velocidad de diseño, normalmente esta velocidad es de 30 km/h en tramos planos y 35 km/h en tramos con pendientes, según el manual de diseño para el tráfico de bicicletas de Holanda.

7.1.1.3. Las curvas y la visibilidad

El radio de una curva afecta la velocidad de los y las ciclistas, el radio mínimo es de 5,00 m; un radio menor obliga a bajar la velocidad a menos de 12 km/h y dificulta el equilibrio. Mientras mayor la velocidad de diseño, mayor debe ser el radio de la curva.
La tabla 6 muestra la visibilidad que se requiere para cruzar diferentes distancias según la velocidad del tráfico motorizado, adicionalmente, estima el tiempo en que se desarrollará este desplazamiento; a mayor velocidad de tráfico motorizado y mayor distancia a cruzar, se evidencia que se requiere mayor longitud de visibilidad.

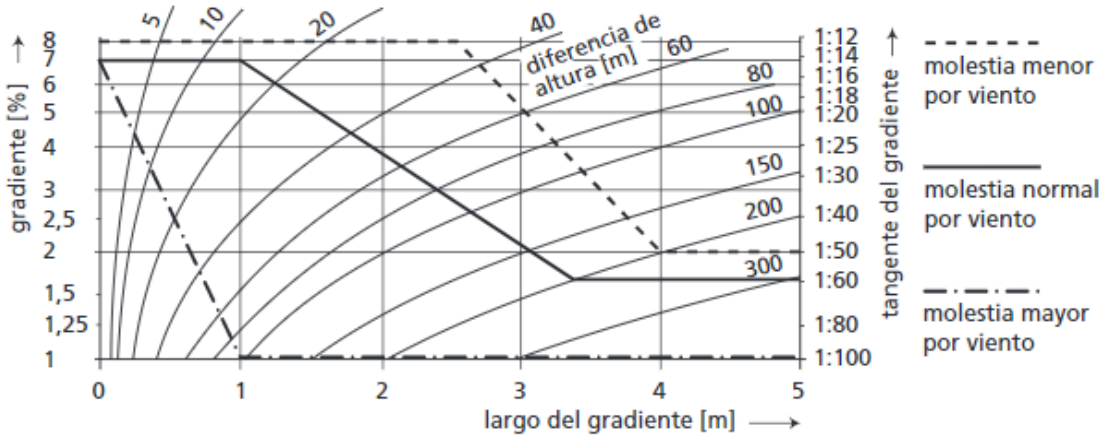
Tabla 6. Visibilidad en curvas

Distancia a cruzar (m)	Tiempo para cruzar (s)	Visibilidad que se requiere (m) según velocidad del tráfico motorizado (V85)			
		30 km/ h	50 km/ h	70 km/ h	90 km/ h
4,00	4,2	45	100	180	205
5,00	4,5	45	105	185	210
6,00	4,9	50	110	190	220
7,00	5,1	50	115	200	225
8,00	5,5	55	120	205	235
Fuente: Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas (CROW) Holanda					

7.1.1.4.Pendientes

Las pendientes consideradas en este manual por lo general son de tipo artificial, las cuales son puentes o túneles. En ese caso, hay una clara relación entre la altura y la gradiente. Mientras más empinada la pendiente, más esfuerzo deben hacer los ciclistas para superar la fuerza de gravedad.
En la figura 15 se pude observar la relación existente de la pendiente con los peraltes y la diferencia de altura, también contemplan un factor muy importante como lo es el viento. Como se puede observar se tiene que a mayor peralte y mayor diferencia de altura mayor deberá ser la pendiente.

Figura 15. Pendientes con relación al peralte y diferencia de altura



Fuente: Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas de Holanda (CROW)

7.1.2. MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE LA CIUDAD DE CATALUÑA ESPAÑA

El Manual de Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña España[26] fue publicado en 2008 por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, este manual es publicado como una muestra del compromiso del gobierno de Cataluña con la movilidad sustentable y la salud de los ciudadanos. Uno de los objetivos de este manual es hacer que la bicicleta se convierta en uno de los ejes de las políticas del futuro en alineación con la nueva apuesta pública por la búsqueda de una movilidad más sustentable.
Los parámetros más relevantes a tener en cuenta para la presente investigación son los siguientes:

7.1.2.1. Tipología de vías ciclísticas

Este aspecto de diseño es fundamental en diseño de cualquier tipo de vía de uso exclusivo de bicicletas, en este capítulo las vías ciclísticas quedan definidas en función de dos características: la primera, es el grado de segregación del tráfico ciclístico respecto al tráfico motorizado y respecto al peatonal; y la segunda

[26] DEPARTAMENTO DE POLITICA TERRITORIAL Y OBRAS PÚBLICAS. Manual para el diseño de vías ciclísticas de Cataluña. España, 2008.

característica, es la correspondencia del trazado de la vía ciclística respecto a la vía principal.
En la Tabla 7 se presentan los tipos de vías ciclísticas según la ley 19 de 2001 de España.

Tabla 7. Tipos de vías ciclísticas

TIPO DE VÍA CICLÍSTICA	CARACTERISTICAS
Camino verde	Vía para peatones y ciclistas, segregada del tráfico, que discurre por espacios naturales y bosques.
Pista - bici	Vía para ciclistas, segregada del tráfico, con trazado independiente al de las carreteras.
Carril bici protegido	Vía para ciclistas, segregada del tráfico, con trazado independiente al de las carreteras.
Carril bici	Vía para ciclistas adosada a la calzada.
Calle de zona 30	Vía no segregada del tráfico con limitación de 30 km/h.
Acero - bici	Vía ciclística señalizada sobre acera.
Calle de convivencia	Vía compartida con los peatones y el tráfico con limitación de 20 km/h y con preferencia para los peatones.
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña	

7.1.2.2. Velocidades de circulación

La velocidad de circulación genérica de las vías ciclísticas, es aquella que condicionará el trazado de la vía en gran parte de su recorrido, esta está relacionada en ciertos tramos a la construcción, paisaje u orografía. En estos casos, será necesaria una señalización específica de reducción de velocidad de circulación.
En la tabla 8 se especifican las velocidades mínimas y genéricas de proyecto para las diferentes tipologías de vías ciclísticas.

Tabla 8. Velocidades de circulación

TIPO DE VÍA CICLISTICA	VELOCIDAD GENÉRICA (Km/h)	VELOCIDAD MÍNIMA (Km/h)
Camino verde	30	20
Camino verde con segregación de peatones	50	30
Pista bici	50	30
Acera bici	20	10
Carril bici protegido	Los mismos valores de las vías principales asociadas	
Carril bici		
Calle de zona 30		
Calle de convivencia		
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña		

7.1.2.3. Velocidad de diseño

La velocidad de circulación de un ciclista depende de los siguientes factores: tipos de bicicleta y condiciones en las que se encuentra, motivo del viaje, condiciones y localización de la vía ciclista, velocidad y dirección del viento, condiciones físicas de la persona ciclista, entre otros.

La velocidad a la que una persona en bicicleta puede circular de manera segura y confortable depende de las características técnicas de la vía por la que circula, como por ejemplo la curvatura, el peralte, la pendiente longitudinal y el ancho de la vía.

Las velocidades para las diferentes tipologías de vías ciclistas con trazado independiente de las vías principales se recogen en la tabla 9.

Tabla 9. Velocidad de diseño

TIPO DE VÍA CICLISTICA	VELOCIDAD GENÉRICA (Km/h)	VELOCIDAD MÍNIMA (Km/h)
Camino verde	30	20
Camino verde con segregación de peatones	50	30
Pista bici	50	30
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña		

7.1.2.4. Radios de giro

El radio mínimo de giro de una curva en una vía ciclista depende de la velocidad en que este circulando la bicicleta, del peralte de la curva, el coeficiente de rozamiento transversal y se calcula con la ecuación 5:

Ecuación 5. Radio de giro

$$R = \frac{V^2}{127 * (\mathrm{p} + f)}$$

Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña

Dónde:
R: radio mínimo de la curvatura (m)
V: velocidad en Km/h
p: peralte de la curva (tanto por uno)
***f*:** coeficiente de rozamiento transversal

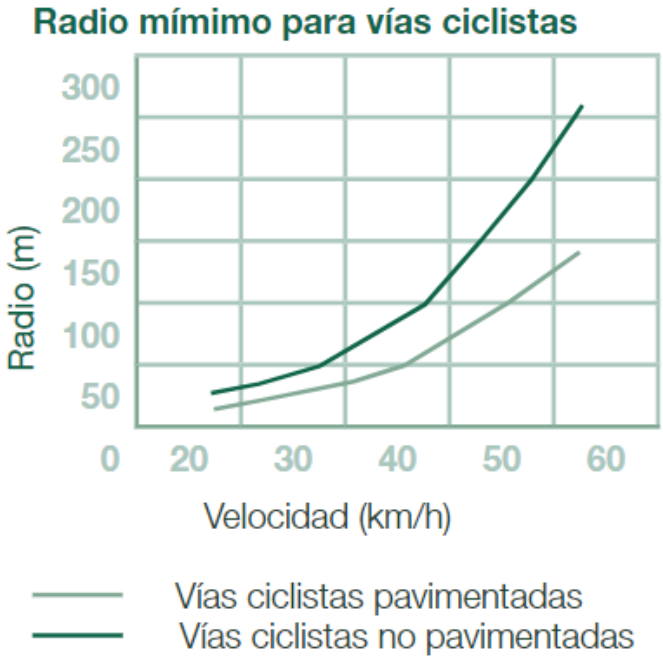
Los valores del coeficiente de rozamiento transversal en las vías pavimentadas en función de la velocidad de circulación se presentan en la tabla 10 donde hay un factor asociado al tipo de estructura de rodadura de la vía.

Tabla 10. Coeficiente de rozamiento a partir del tipo de capa de rodadura

VELOCIDAD (Km/h)	f EN VÍAS PAVIMENTADAS	f EN VÍAS NO PAVIMENTADAS
20	0,31	0,16
30	0,28	0,14
40	0,25	0,13
50	0,21	0,11
60	0,18	0,09
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña		

Es recomendable que el valor del peralte de la curva oscile entre el 2% y el 3%. El drenaje superficial de la vía queda garantizado con el peralte mínimo del 2%.
En la figura 16, se pude observar la relación que existente entre la velocidad de diseño, el tipo de cicloruta (si es pavimentada o no) y el radio mínimo, a mayor velocidad el radio mínimo debe ser mayor.

Figura 16. Radio mínimo para vías ciclistas



Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña

En la tabla 11, se presentan algunos ejemplos de radios mínimos con respecto a la velocidad de diseño más usadas y el estado de la vía (pavimentada o no).

Tabla 11. Radios de giro

VELOCIDAD (Km/h)	RADIO MÍNIMO EN (m)	
	f EN VÍAS PAVIMENTADAS	f EN VÍAS NO PAVIMENTADAS
20	10	17
30	24	44
40	47	84
50	86	151
60	142	258
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña		

7.1.2.5. Distancia de visibilidad

La distancia que una persona ciclista necesita para parar completamente al observar un obstáculo es un factor a tener en cuenta en el diseño de las vías ciclistas. Esta distancia está en función del tiempo de percepción y reacción del ciclista, el coeficiente de rozamiento horizontal, la inclinación de la rasante y la velocidad de diseño.

7.1.2.6. Distancia de parada

La distancia de parada (Dp) es la distancia total recorrida por una bicicleta obligada a pararse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado.
Esta distancia de parada se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Dp = \frac{V^2}{254 \cdot (F \pm I)} + \frac{V \cdot T_P}{3{,}6}$$

Ecuación 6. Distancia de parada
Fuente: Manual para el Diseño de Vías ciclísticas de la Ciudad de Cataluña

Dónde:
Dp: distancia de parada (m)
V: velocidad (Km/h)
F: visibilidad mínima lateral (m)
Tp: tiempo de parada (s)
I: inclinación (%)

7.1.2.7. Distancia de visibilidad en curvas. visibilidad lateral

La distancia de parada será igual o superior a la distancia de parada mínima a lo largo de la totalidad del trazado de la vía ciclista. Para garantizar que hay visibilidad de parada en curvas circulares, hará falta disponer de una cierta visibilidad lateral.

Esta distancia de visibilidad lateral se podrá calcular por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Distancia de visibilidad lateral

$$F = \mathrm{R} \cdot \left(1 \cdot \cos\left(\frac{28{,}65 \cdot Dp}{R}\right)\right) - 0{,}65 \cdot \mathrm{B}$$

Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña

Dónde:
F: mínima visibilidad lateral (m)
R: radio del eje del carril (m)
Dp: distancia de parada (m)
B: ancho de carril (m)

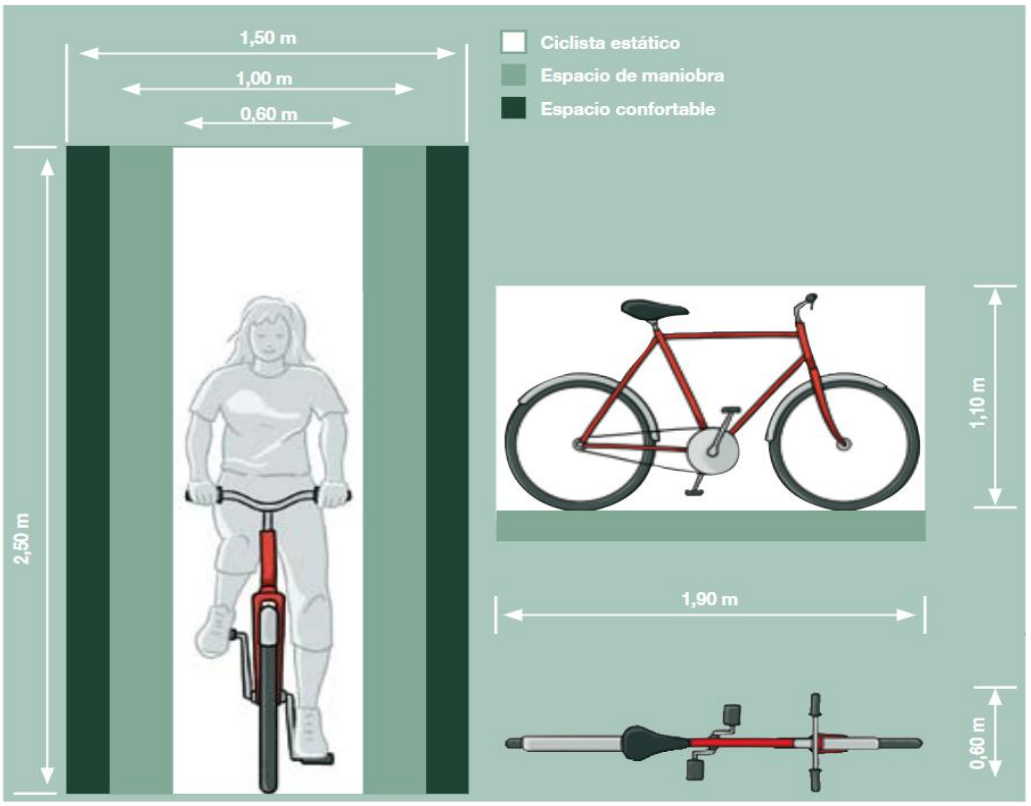
7.1.2.8. Anchos de vías ciclísticas

El espacio útil del o de la ciclista queda descrito en la figura 17, con las siguientes dimensiones:

Ancho: 1,00 m
Longitud: 1,90 m
Altura: 2,50 m

El ancho de 1,00 m resulta de sumar el ancho del manillar (0,60 m) y el espacio necesario para el movimiento de los brazos y de las piernas (0,20 m por cada lado).

Figura 17. Dimensiones de la bicicleta



Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña

En la tabla 12 se fijan los anchos mínimos recomendables en función del tipo de vía, donde se varían con respecto al tipo de segregación al tránsito y si son de uso exclusivo o conjunto con otros participes de la movilidad.

Tabla 12. Ancho mínimo según el tipo de vía

TIPO DE VÍA CICLÍSTICA	ANCHO MÍNIMO (m)	ANCHO RECOMENDABLE (m)
Camino verde con pista segregada para peatones	4,00	5,00
Camino verde compartido con peatones	2,50	3,00
Pista - bici direccional	2,00	2,50
Pista - bici unidireccional	1,50	2,00
Carril bici protegido bidireccional en zona interurbana	2,50	3,00
Carril bici protegido unidireccional en zona interurbana	2,00	2,50
Carril bici protegido bidireccional en zona urbana	2,00	2,50
Carril bici protegido unidireccional en zona urbana	1,50	1,75
Carril bici unidireccional en zona interurbana	1,50	2,00
Carril bici unidireccional en zona urbana	1,50	1,75
Carril bici unidireccional en sentido contrario	1,75	2,00
Acera - bici bidireccional	2,00	2,25
Acera - bici unidireccional	1,50	1,75
Fuente: Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de la Ciudad de Cataluña		

7.1.3. MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS TOMO 4

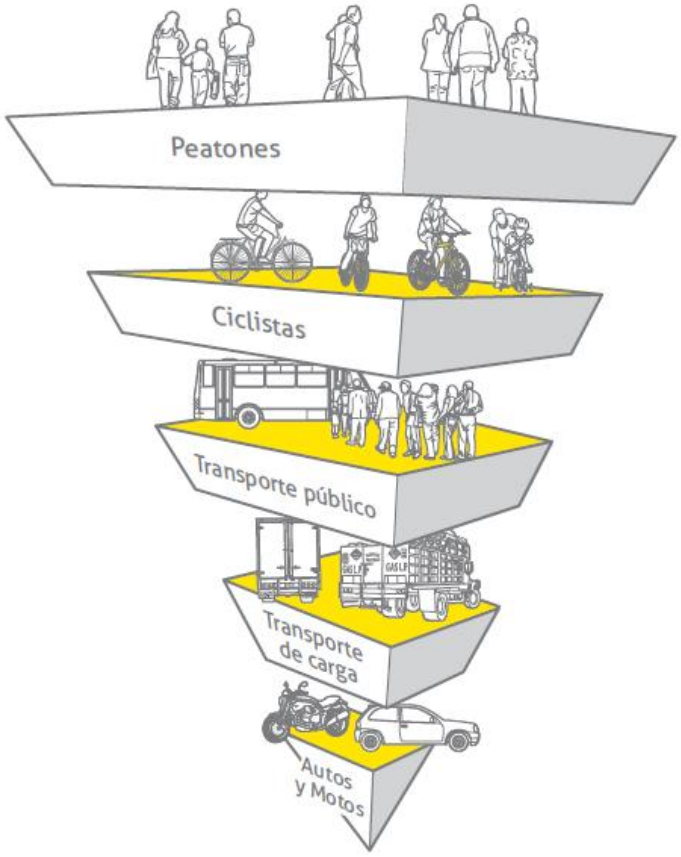
El Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas[27] surge de la necesidad de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en las grandes ciudades mexicanas, parte de varios estudios realizados, los cuales han demostrado que la bicicleta es el modo de transporte más eficiente en recorridos de hasta cinco kilómetros puerta a puerta, este estudio estableció que la velocidad promedio de los viajes en bicicleta es de 16.4 km/h, mientras que los recorridos en automóvil se realizan con una velocidad promedio de 15.0 km/h.

Partiendo de este estudio y queriendo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, bajo este parámetro desarrollaron una política de movilidad sostenible, en la cual jerarquizaron y establecieron una nueva forma de distribución del espacio de la vía pública de la siguiente manera:

[27] INSTITUTO PARA POLÍTICAS DE TRANSPORTE Y DESARROLLO. Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas. Cuauhtémoc, México. 2011.

- Peatones: en especial personas con alguna discapacidad y otros sectores de la población con necesidades especiales como adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con una limitación temporal.
- Ciclistas.
- Usuarios y prestadores de servicio de transporte de pasajeros masivo, colectivo o individual.
- Usuarios y prestadores de servicio de transporte de carga.
- Usuarios de transportes particulares automotores.

Figura 18. Jerarquización del espacio publico



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

A partir de esta clasificación surge la necesidad de implementar infraestructura ciclista, con base a ello, se desarrolló el Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas, el cual fue elaborado por el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo México, impreso en junio de 2011, esto para implementar políticas de transporte urbano sostenible en ciudades mexicanas.

Dentro de los parámetros más importantes a tener en cuenta en la presente investigación se tienen los siguientes:

7.1.3.1. Velocidad de diseño

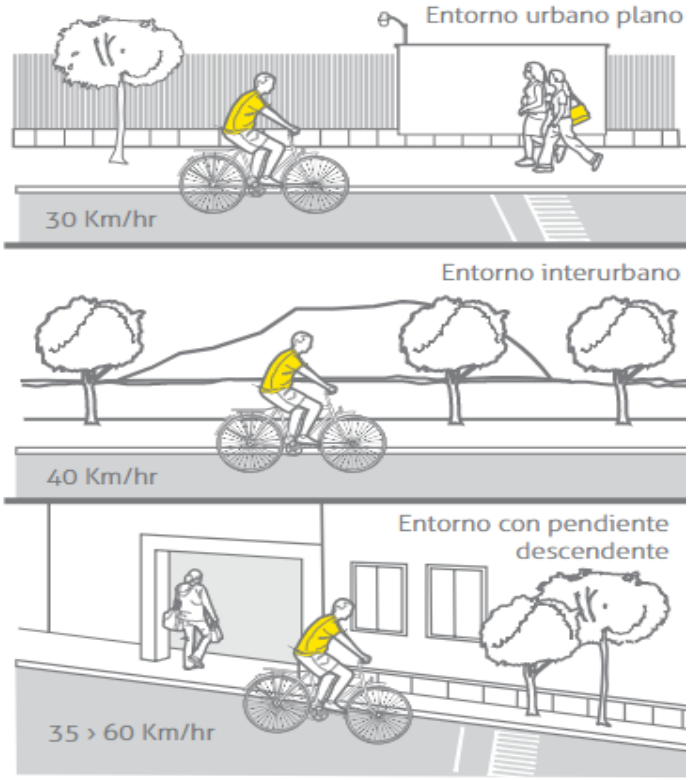
La velocidad para la cual se diseña la infraestructura ciclista es de vital importancia, ya que determina el radio y el peralte de las curvas y las distancias mínimas de visibilidad, además de que es crucial para establecer el ancho de la vía.
En entornos urbanos planos, una velocidad de diseño de 30 Km/h proporciona un margen de seguridad adecuado para un ciclista que viaja a una velocidad promedio de 20 Km/h. En entornos interurbanos planos, es aconsejable que la velocidad de diseño sea de 40 Km/h. En descensos, si la pendiente es pronunciada, la velocidad de diseño debe acrecentarse para que el ciclista pueda aumentar su velocidad sin afectar su nivel de seguridad. En la tabla 13, se muestra la variación de la velocidad con respecto a la longitud y al porcentaje de pendiente.

Tabla 13. Velocidad de diseño en función de la pendiente

PENDEINTE %	LONGITUD (m)		
	25 a 75	75 a 150	>150
3 a 5	35 km/h	40 km/h	45 km/h
6 a 8	40 km/h	50 km/h	55 km/h
9	45 km/h	55 km/h	60 km/h
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas			

La figura 19, muestra la relación de la velocidad de diseño con el lugar de circulación, donde en el entorno con pendiente de descenso, la velocidad tiende a aumentar hasta 60 km/h.

Figura 19. Velocidad de diseño en función de la pendiente



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

La velocidad de diseño establece el ancho de los carriles ciclistas. Para entornos urbanos, se puede optar por las dimensiones mínimas. Sin embargo, en descensos los ciclistas deben contar con un espacio adicional para hacer correcciones en su trayectoria. De la misma forma, al ascender una pendiente, el ciclista necesita más espacio para circular en zigzag y mantener su balance. Es decir, las vías ciclistas necesitan un sobreancho en zonas con pendientes, especialmente si son bidireccionales.
En la tabla 14, se detalla el sobreancho requerido en la vía, dependiendo del porcentaje de pendiente y la longitud.

Tabla 14. Sobreancho de vía

PENDEINTE %	LONGITUD (m)		
	25 a 75	75 a 150	>150
3 A 5	-	0.20 m	0.30 m
6 A 8	0.20 m	0.30 m	0.40 m
9	0.30 m	0.40 m	0.50 m
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas			

En pendientes mayores al 9% se recomienda aumentar el ancho de la vía 0.60 m para permitir que los ciclistas menos experimentados puedan desmontar su bicicleta y continuar el trayecto a pie.

7.1.3.2. Pendientes

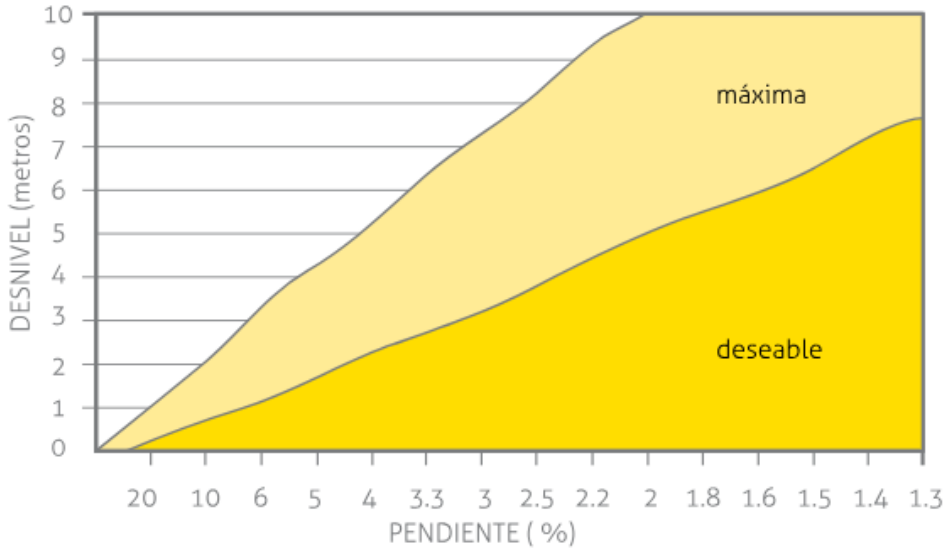
En referencia a las pendientes, al diseñar una vía ciclista hay dos aspectos a considerar:
1. El esfuerzo para ascender.
2. La seguridad en los descensos.
Al cumplir con los parámetros de pendientes en los ascensos, el ciclista no tiene que reducir la velocidad repentinamente, sobre todo si la pendiente se encuentra en una intersección; en los descensos, evita un desgaste inadecuado de los frenos o la pérdida de control de la bicicleta por parte del ciclista. Las pendientes máximas y deseables están calculadas en función del desnivel a superar. En la tabla 15, se presenta un ejemplo de aplicación de pendientes con respecto al desnivel a superar, estas pendientes varían desde 1,7 % hasta un 10 % máximo.

Tabla 15. Ejemplo de aplicación de pendientes máximas

DESNIVEL QUE SE DESEA SUPERAR	PENDIENTE	
	DESEABLE %	MÁXIMA %
2	5,00	10,00
4	2,50	5,00
6	1,70	3,30
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas		

Con respecto a la longitud de la pendiente, los desniveles inferiores al 3% no causan mayor problema en la circulación ciclista, por lo que pueden existir tramos largos con esta inclinación. En cambio, se deben evitar lo más posible las pendientes mayores al 6%, ya que pueden causar fatiga. En la figura 20, explican gráficamente los porcentajes de pendiente deseable y máxima con respeto a la longitud en accenso; a mayor desnivel, menor porcentaje de pendiente.

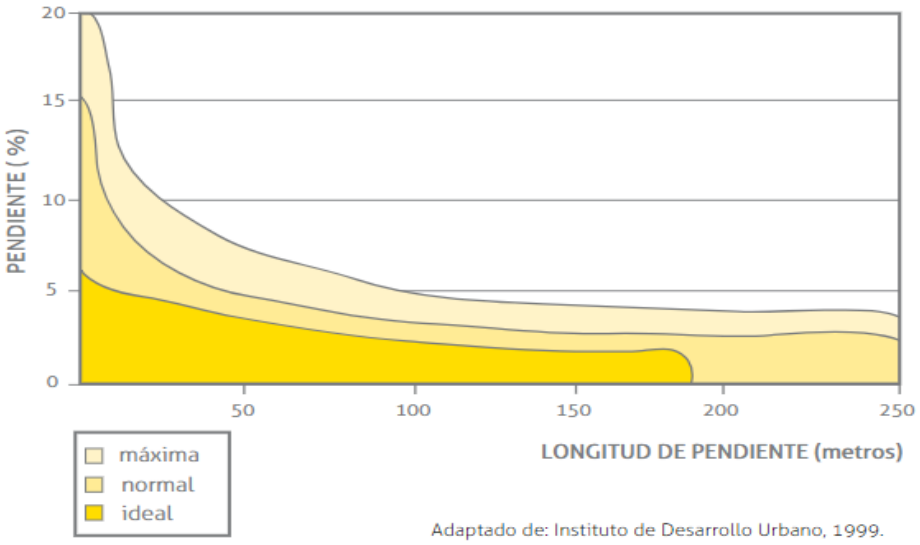
Figura 20. Ejemplo de aplicación de pendientes máximas



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

La figura 21, presentan la pendiente aceptable en función de la longitud de desnivel; de esta manera se entiende que, a grandes pendientes, la longitud de esta debe ser mínima.

Figura 21. Pendiente aceptable en función de la longitud



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

La tabla 16 muestra un ejemplo de las longitudes a superar dependiendo de las pendientes máximas, en pendientes mínimas, se permitirán longitudes largas con la misma inclinación.

Tabla 16. Pendientes máximas

PENDIENTES MAXIMAS %	LONGITUD (m)
3.6	500
6	240
7	120
8	90
9	60
10	30
11-20	15
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas	

7.1.3.3. Peraltes y radios de curvatura

De acuerdo con el manual de la ciudad de México los peraltes máximos serán del 12% y en vías bidireccionales con curvas en pendientes mayores a 4%, el peralte no deberá exceder un 8%, para facilitar el ascenso de los ciclistas.
Los ciclistas tienden a ladearse entre 15° y 20°, pero si se pedalea en una curva muy cerrada la inclinación puede alcanzar un ángulo de 25° y provocar que el pedal pegue en el pavimento.
En la ecuación 8 se presenta la forma de calcular el radio mínimo de una curva teniendo como factores la velocidad de diseño y el ángulo de inclinación del ciclista.

Ecuación 8. Radio mínimo de una curva

$$R = \frac{0{,}0079V^2}{tan\theta}$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

Dónde:
R: radio de curvatura (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
Ø: ángulo de inclinación del ciclista (°)

Cuando el ángulo de inclinación se aproxima a los 20°, el radio mínimo de la curva se convierte en una función del peralte, de la velocidad y del coeficiente de fricción de las ruedas con la superficie de rodadura. En estos casos, el radio mínimo se calcula con la ecuación 9 citada a continuación.

Ecuación 9. Radio mínimo de una curva en función del peralte

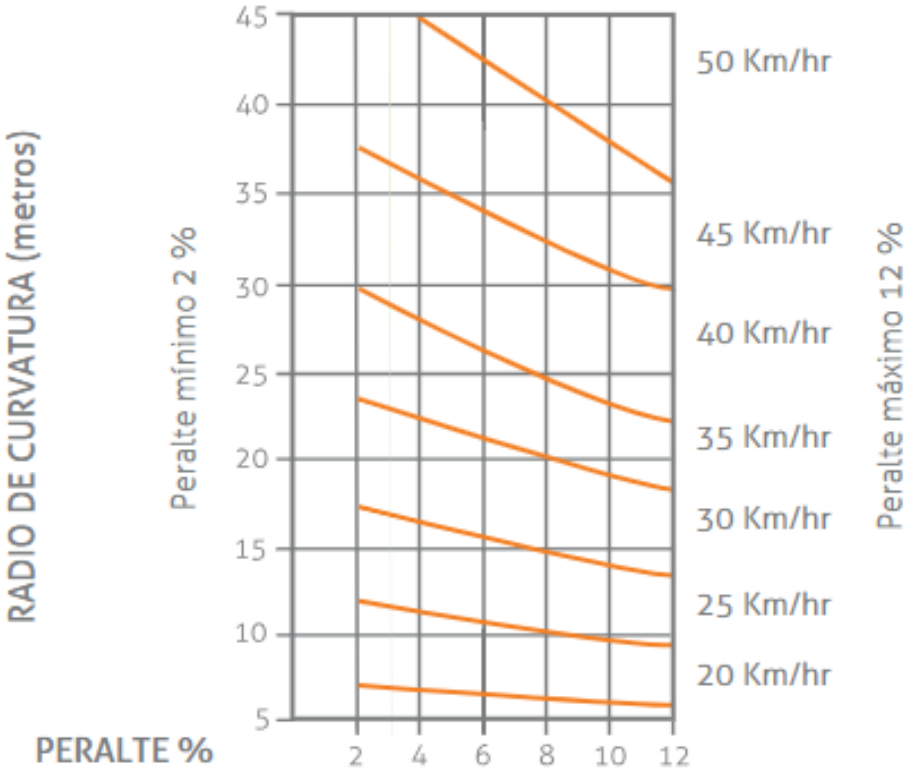
$$R = \frac{V^2}{127 + (\mathrm{e} + F)}$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

Dónde:
R: radio de curvatura (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
e: peralte (%)
F: el coeficiente de fricción

Un coeficiente de fricción de 0.40 se asigna a superficies duras, asumiendo que el ciclista se inclinará en un máximo de 20° de la vertical. En la figura 22, se muestran los radios mínimos de curvatura en función del peralte y de la velocidad de diseño, entre menor sea el peralte y menor la velocidad de diseño se obtendrán mínimos radios de curvatura.

Figura 22. Radios mínimos de curvatura en función del peralte y de la velocidad de diseño



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

En la tabla 17, se muestran los radios de curvatura en función de la velocidad de diseño, el peralte y el tipo de superficie, esta tabla presenta en resumen los valores presentados en la figura 21; adicional a esto presenta valores para superficies destapadas.

Tabla 17. Radios de curvatura en función de la velocidad de diseño

VELOCIDAD DE DISEÑO	PERALTE 2%	PERALTE 12%	SUPERFICIES DESTAPADAS PERALTE 2%
20 Km/h	7.50 m	6.10 m	14.30 m
25 Km/h	11.70 m	9.50 m	22.40 m
30 Km/h	16.90 m	13.60 m	32.20 m
35 Km/h	23.00 m	18.50 m	43.80 m
40 Km/h	30.00 m	24.20 m	57.30 m
50 Km/h	46.90 m	37.90 m	89.50 m
60 Km/h	67.50 m	54.50 m	128.80 m
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas			

El sobreancho es una función del radio de la curva donde se deben considerar la gran variedad para la dimensión de los carriles ciclistas y los radios de giro. En la tabla 18 se evidencian sobreanchos mínimos desde 0,25 m hasta 1,0 m y radios de curvatura entre 8 m y 32m; esto quiere decir que a menor radio de curvatura se requieren mayores sobreanchos.

Tabla 18. Sobreancho en el interior de la curva

RADIO DE CURVATURA	SOBREANCHO REQUERIDO (Pendientes entre 0% Y 3%)
24 a 32 m	0.25 m
16 a 24 m	0.50 m
8 a 16 m	0.75 m
0 a 8 m	1.00 m
Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas	

7.1.3.4. Distancia de visibilidad

Un factor importante que considerar al diseñar la infraestructura ciclista es la distancia de parada o frenado, se define en función de la distancia de visibilidad del ciclista. Para calcularlo es necesario conocer el tiempo de la percepción y reacción del ciclista, la pendiente, la velocidad, el coeficiente de fricción entre las ruedas y la superficie de rodadura.

Un tiempo de percepción-reacción de 2.5 segundos con un coeficiente de fricción (F) de 0,25 y comportamiento estándar del sistema de frenos en superficies

húmedas, se puede determinar la distancia de visibilidad por medio de la ecuación 10.

Ecuación 10. Distancia visibilidad

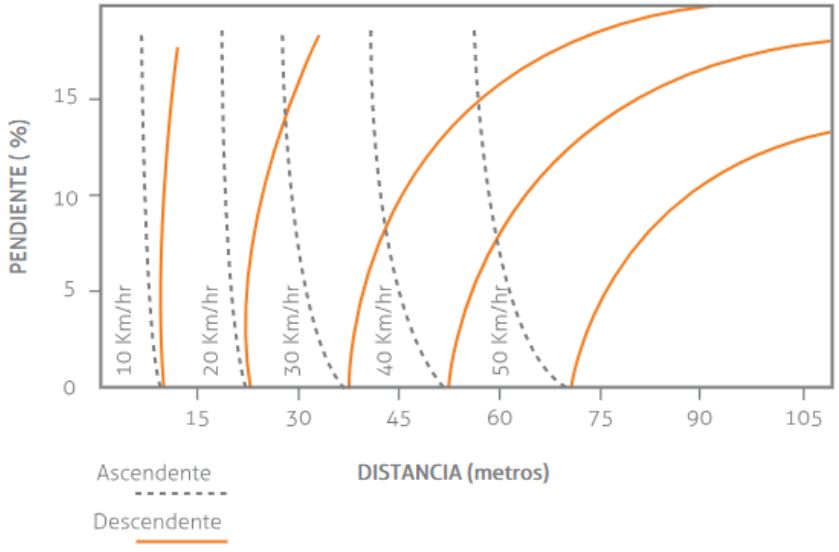
$$S = \frac{V^2}{255(\mathrm{G} + F)} + 0.694V$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

Dónde:
S: distancia de visibilidad (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
F: coeficiente de fricción (0,25)
G: pendiente (%)

Si hay curvas, el campo de visión es limitado, es necesario verificar la distancia de parada, tanto en planta como en elevación. Para eso, el diseñador debe calcular el despeje lateral en el interior de las curvas horizontales o la longitud de las curvas verticales.

Figura 23. Distancia de visibilidad en función del peralte



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

7.1.3.5. Verificación distancia de visibilidad en planta

En curvas horizontales la visibilidad de parada debe ser superior a la distancia de parada. La configuración de una curva puede llegar a impedir la visibilidad hacia el frente, por lo que es crucial proporcionar un despeje lateral (una zona libre de obstáculos para el campo visual). El despeje lateral en la parte interna de una curva horizontal está en función del radio de curvatura. Si la distancia de visibilidad es igual o menor que la longitud de la curva tal como se puede calcular por medio de la ecuación 11.

Ecuación 11. Distancia visibilidad, despeje lateral

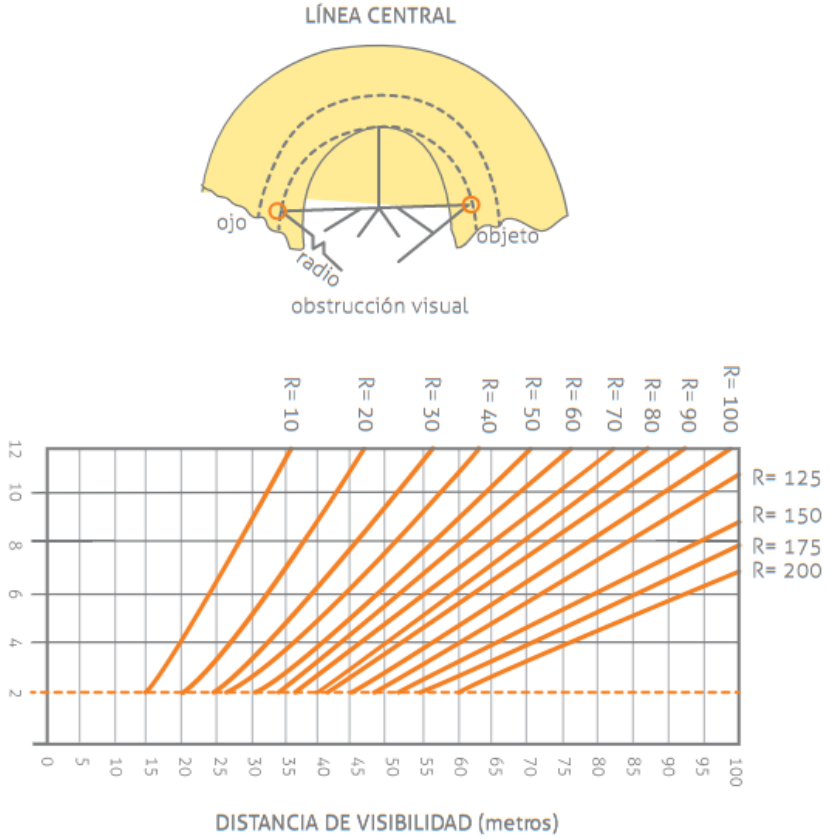
$$\mathrm{M}= R\left(1 - cos\left(28{,}65 \cdot \frac{S}{R}\right)\right)$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

Dónde:
M: despeje lateral, medido desde el centro de la línea de carril interior (m)
S: distancia de visibilidad (m)
R: radio en el centro del carril interior (m)

Se puede observar la distancia de visibilidad de varios radios de curvatura con respecto al despeje lateral en la figura 24; también se relacionan la distancia de visibilidad con el radio de giro y el despeje lateral, donde a mayor radio de giro y mayor despeje se requiere mayor distancia de visibilidad.

Figura 24. Distancia de visibilidad respecto a la línea central



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

7.1.3.6. Verificación distancia de visibilidad en elevación

Para mantener el campo de visión mínimo necesario en la cresta de una curva vertical, ésta necesita tener una longitud adecuada. Este criterio es una función de la distancia de visibilidad y la diferencia algebraica entre las pendientes a cada lado de la cresta. La longitud de la curva debe medir por lo menos 0.38 veces la velocidad de diseño. La longitud mínima de la curva vertical se determina a través de las ecuaciones 12 y 13 dependiendo de la distancia de visibilidad.

Ecuación 12. Longitud mínima de la curva vertical cuando S>L

$$L = 2S - \frac{200\left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right]^2}{A}$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

Dónde:
L: longitud mínima de la curva vertical (m)
S: distancia de visibilidad (m)
A: la diferencia algebraica de las pendientes (m)
H1: 1,4 m (altura de los ojos del ciclista)
H2: 0,0 m (altura del objeto)

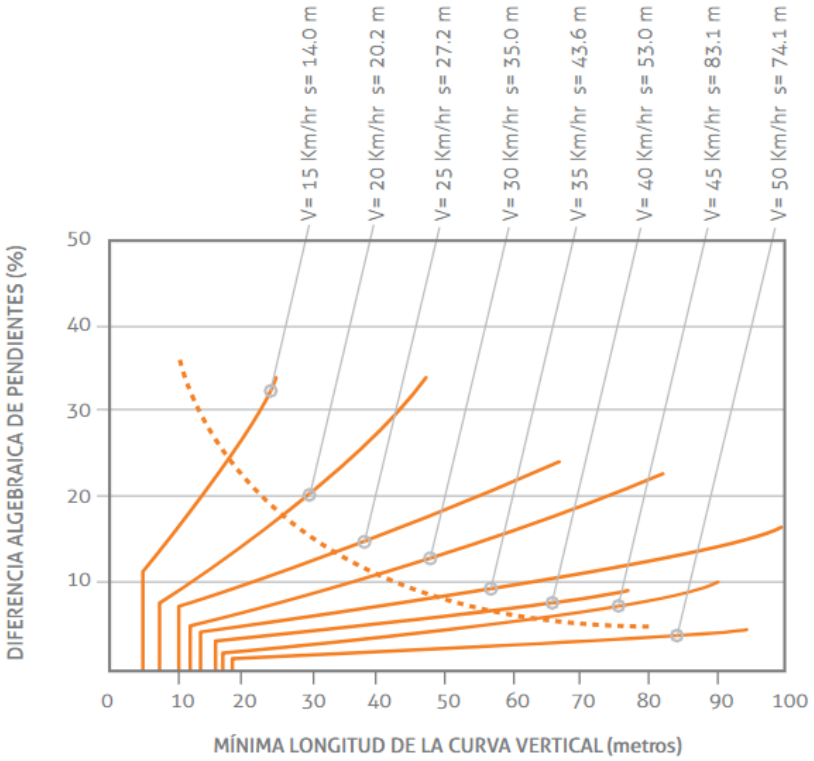
Ecuación 13. Longitud mínima de la curva vertical cuando S<L

$$L = \frac{AS2}{100\left[\sqrt{2H_1} + \sqrt{2H_2}\right]^2}$$

Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

La figura 25, se muestra la longitud mínima de la curva para diferentes velocidades de diseño, considerando la diferencia algebraica de las pendientes; donde a mayor velocidad y a mayor diferencia algebraica de pendientes mayor longitud de curva vertical.

Figura 25. Longitud mínima de la curva para diferentes velocidades de diseño



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

7.1.3.7. Anchos de vías ciclísticas

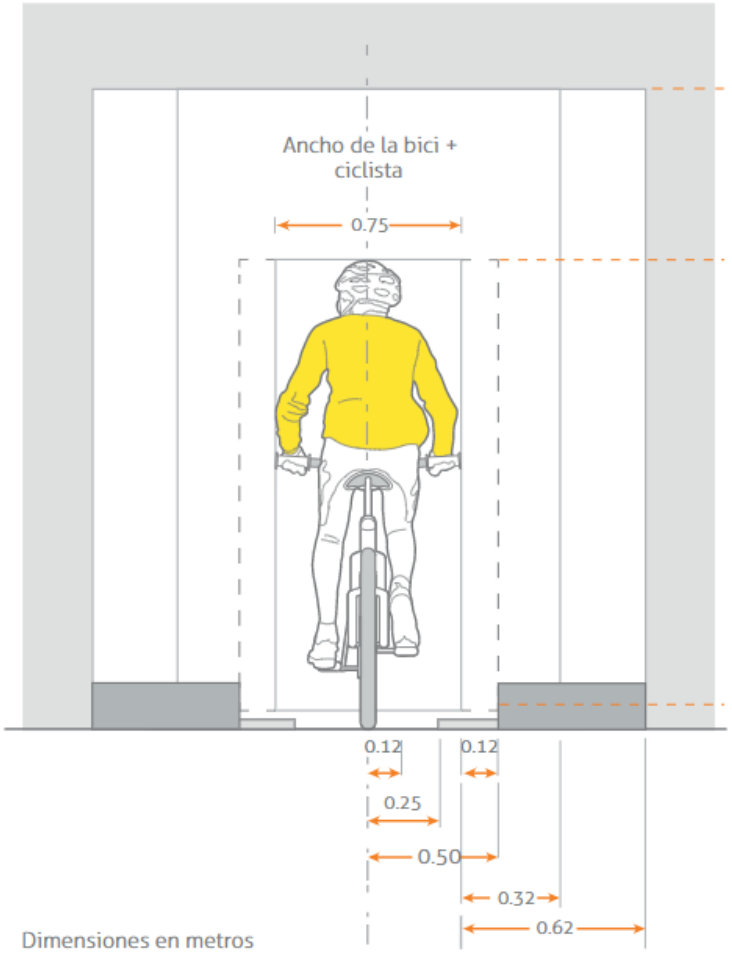
Las dimensiones requeridas para el manejo adecuado de la bicicleta dependen principalmente de las dimensiones de esta, normalmente se tiene unas dimensiones promediadas a las cuales se les debe incluir las dimensiones de manejo seguro.

- Espacio para los movimientos laterales al pedalear (debido a los cambios de rumbo ocasionados por la inestabilidad, el viento, habilidad del ciclista, reacciones a golpes, entre otros).
- Temor a obstáculos en relación al follaje al nivel de la infraestructura ciclista o al de la guarnición inferior a los 5.00 cm.
- Temor a obstáculos en relación a una guarnición superior a los 5.00 cm.

- Temor a obstáculos en relación a objetos fijos (luminarias, señalización, bolardos, árboles, entre otros).
- Temor a obstáculos en relación a bardas.

En la figura 26 se observan los anchos de las bicicletas promedio con las dimensiones de maniobrabilidad requerida para transitar de una forma segura en la vía.

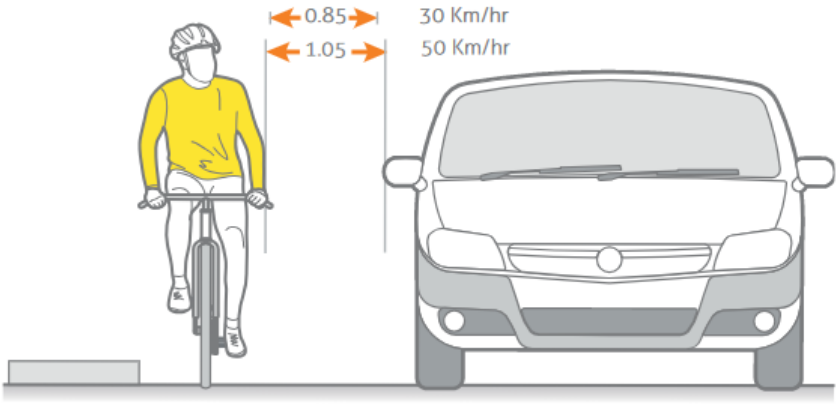
Figura 26. Anchos vías ciclistas



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

La figura 27, se observa que, si los automóviles pasan a 30 Km/h junto a un ciclista, la distancia adecuada entre ambos debe ser de 0.85 m, mientras que, si la velocidad del auto es de 50 Km/h, la distancia se incrementa a 1.05 m.

Figura 27. Distancia para un rebase cómodo y seguro



Fuente: Manual Integral de Movilidad Ciclística para Ciudades Mexicanas

7.1.4. MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – PLAN MAESTRO METROPOLITANO DE LA BICICLETA DEL VALLE DE ABURRÁ

El manual de ciclo infraestructura metropolitana del Valle de Aburrá[28] es un proyecto realizado en 2015 por la Junta Metropolitana del Valle de Aburrá conformada por diferentes entes políticos de ciudades como Medellín, Barbosa, Girardota, Bello, Itagüí, Caldas, entre otros.

Este manual se toma como referencia a nivel nacional, por su actualidad, contempla la normativa nacional e incluye la tipología de la bicicleta, como lo son bicitaxis y triciclos de carga, entre otros, teniendo como fin ser una pieza técnica orientadora, que contemple los requerimientos de: seleccionar, clasificar y sistematizar los estándares de diseño, concebir y ejemplificar el proceso de planeamiento, diseño construcción y mantenimiento de vías ciclísticas para su aplicación práctica en los municipios del territorio metropolitano, y por último, empoderar a los tomadores de decisiones mediante el desarrollo de un marco conceptual y operativo idóneo.

[28] ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA. Manual de ciclo infraestructura metropolitana. Plan maestro metropolitano de la bicicleta del valle de aburra. Medellín 2015.

7.1.4.1. Tipos de ciclorutas

Este componente define dos rasgos diferenciales en el uso asignado a la cicloruta, asociada con el paisaje urbano, agrupando los distintos tipos de tramos de vías ciclistas en un conjunto de tipos funcionales.
En este componente se encuentran ocho tipos de ciclorutas como se evidencia en tabla 19 las cuales dependen directamente de la zona de implementación.

Tabla 19. Tipos de ciclorutas

TIPO	DENOMINACIÓN
CR-1	Ciclorruta paisaje rural
CR-2	Ciclorruta paisaje sub urbano
CR-3.a	Ciclorruta paisaje urbano - Áreas residenciales tradicionales
CR-3.b	Ciclorruta paisaje urbano - Áreas residenciales contemporáneas (baja- media densidad)
CR-3.c	Ciclorruta paisaje urbano - Áreas residenciales contemporáneas alta densidad
CR-3.d	Ccilorruta paisaje urbano - Centro histórico
CR-3.e	Ccilorruta paisaje urbano - Núcleos industriales y de servicios metropolitanos
CR-4	Ciclorruta paisaje urbano del rio
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá	

7.1.4.2. Velocidad de diseño

En este componente se tiene en cuenta factores como la pendiente y condición climática, que repercuten en la velocidad ciclista, la relación entre pendiente de descenso y velocidad de los diseños específicos de ladera.
Estos factores permiten establecer la velocidad de diseño de la vía. De acuerdo con las condiciones del entorno, la velocidad media de operación está entre 10 km/h (zonas de ascenso) y 40 km/h (zonas en descenso), tal como se muestra en la tabla 20 y tabla 21, en las cuales se relacionan la condición de altura y la pendiente para determinar la velocidad de diseño, respectivamente.

Tabla 20. Velocidad de diseño depende de condición

CONDICIÓN	PENDIENTE	VELOCIDAD Km/h
Plano	0% - 3%	15 - 20
Ascendente	Mayor al 3%	10 - 15
Descendente	Mayor al 3%	20 - 40
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá		

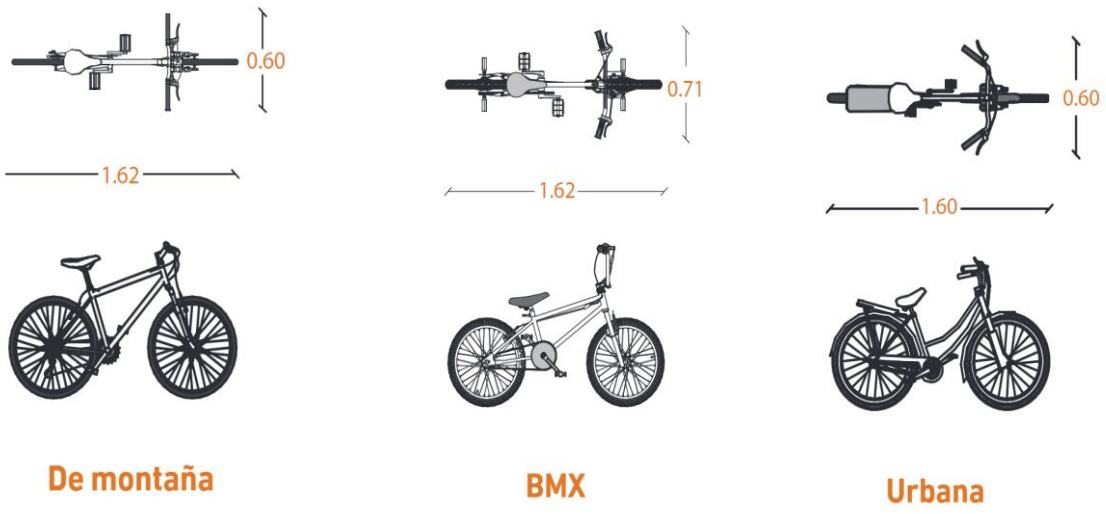
Tabla 21. Velocidad de diseño depende de la pendiente

PENDIENTE %	LONGITUD MÁXIMA (m)		
	25-75	75-150	>150
3-5	35	40	45
6-8	40	50	55
9	45	55	60
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá			

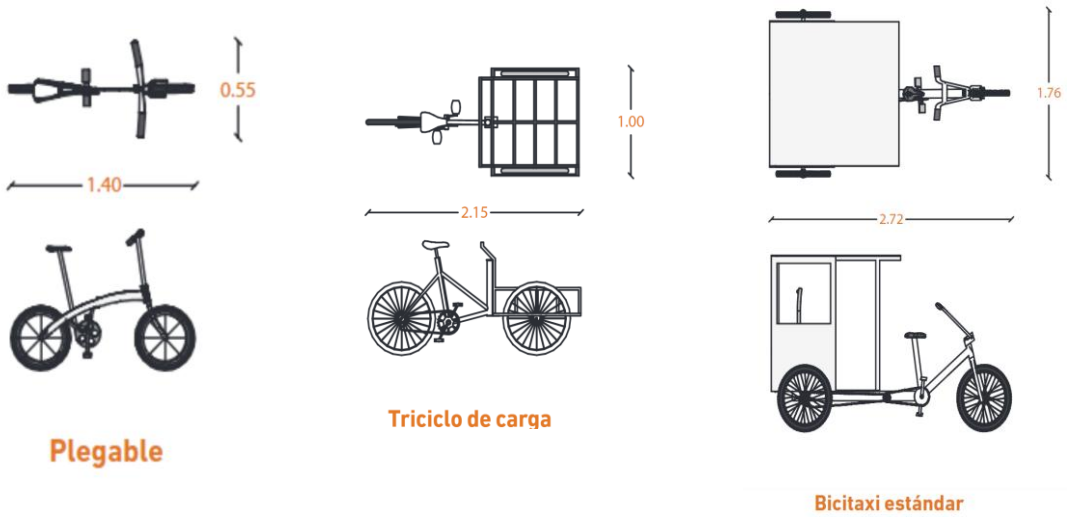
7.1.4.3. Tipología de vehículos

Los vehículos ciclísticos que actualmente transitan por el territorio metropolitano son los siguientes; en cada uno varían las dimensiones, es por esto, la importancia de determinar los posibles usos de las ciclorutas a diseñar y en dado caso trabajar con medidas promediadas para no discriminar el uso a ciertas tipologías.

Figura 28. Tipología de vehículos



Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

7.1.4.4. Distancia de visibilidad en tramos rectos

Este parámetro garantiza a los usuarios condiciones seguras de llegada a las intersecciones y permite las maniobras de frenado con seguridad. La distancia de visibilidad en tramos rectos está dada por la Ecuación 14 donde se relaciona la distancia de visibilidad con la velocidad de diseño, el coeficiente de fricción y la pendiente.

Ecuación 14. Distancia de visibilidad en tramos rectos

$$S = \frac{V^2}{255\left(\left(\frac{G}{100}\right) \pm F\right) + V/1.4}$$

Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

Dónde:
S: distancia de visibilidad (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
F: coeficiente de fricción
G: pendiente (%)

La distancia de visibilidad en tramos rectos se evidencia en la taba 22, donde se relaciona la velocidad y la pendiente, para hallar la longitud de visibilidad en tramos rectos; en tramos en descenso con altas pendientes, a mayor velocidad se requerirá mayor distancia de visibilidad.

Tabla 22. Distancia de visibilidad en tramos rectos

PENDIENTE %	VELOCIDAD Km/h				
	10	20	30	40	50
-15	11	30	57	92	134
-10	10	25	45	71	101
-5	9	22	39	60	85
-3	9	21	38	57	80
0	9	21	36	54	75
3	9	20	34	51	71
5	8	20	33	50	69
10	8	19	32	47	64
15	8	18	30	44	60
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá					

7.1.4.5. Distancia de visibilidad en tramos curvos

Es un parámetro de diseño enfocado en la seguridad y comodidad de los usuarios, esta característica se calcula mediante la ecuación 15, donde la distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva.

$$S = \frac{R}{2} 8{,}65 \left(\cos^{-1} \iint \left(R - \frac{M}{R} \right) \right)$$

Ecuación 15. Distancia de visibilidad en tramos horizontales curvos
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

Dónde:
M: despeje lateral, medido desde el centro de la línea del carril interior (m)
R: radio en el centro del carril interior (m)
S: distancia de visibilidad (m)

En la ecuación 16, se presenta la forma de calcular la distancia de visibilidad en curvas, la cual depende de la longitud de la curva vertical y las diferencias de pendientes.

Ecuación 16. Distancia de visibilidad en curvas

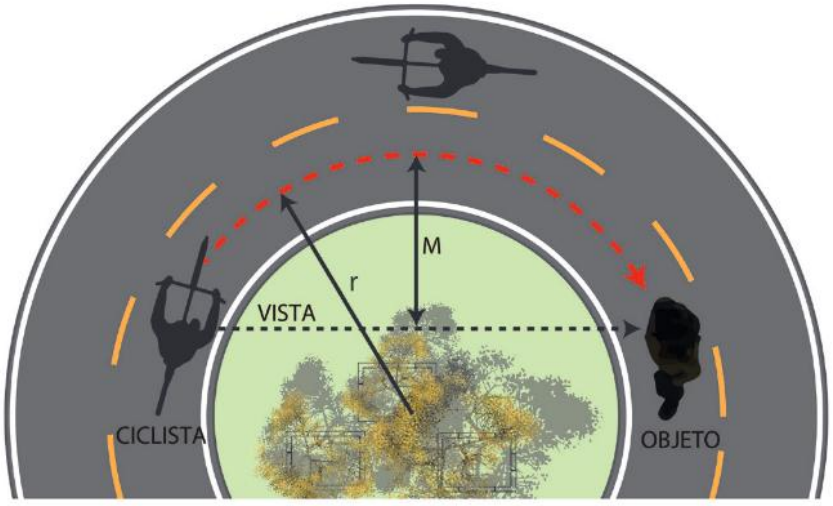
$$Si\ S > L: L = 2s - \left(\frac{280}{A}\right); Si\ S < L: L = \frac{AS^2}{280}$$

Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

Dónde:
L longitud mínima de la curva vertical (m)
A diferencia algebraica de pendientes (%)
S distancia de visibilidad (m)

En la figura 29. Se observa dicha relación de visibilidad con el radio de la curva; a menor radio de giro, la curva será más cerrada y por consiguiente disminuirá la visibilidad en la curva.

Figura 29. Visibilidad en curvas



Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

7.1.4.6. Radios de curvatura

A partir de la selección del vehículo y la velocidad de diseño se establecen los radios de giro de la vía ciclista. Estos radios de giro están asociados con el peralte de la vía, la inclinación del ciclista para tomar el giro y el coeficiente de fricción.
El radio de curvatura considera la velocidad de diseño y la inclinación del ciclista (menor a 15°) para tomar la curva y se obtiene con la ecuación 17,

Ecuación 17. Radio de curvatura

$$R = \frac{0{,}0079V^2}{tan\theta}$$

Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá

Dónde:
R: radio de curvatura (m)
V: velocidad de diseño (km/h)
Ø: ángulo de inclinación del ciclista con respecto a la vertical

La tabla 23, muestra la relación entre la velocidad de diseño y el radio de curvatura, donde se tienen radios desde 3 m hasta 74 m.

Tabla 23. Radios de curvatura para 15° de inclinación

VELOCIDAD Km/h	RADIO DE CURVATURA (m)
10	3
20	12
30	27
40	47
50	74
Fuente: Manual de Ciclo Infraestructura Metropolitana del Valle de Aburrá	

8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MANUALES INTERNACIONALES CON EL MANUAL DE BOGOTÁ

Para el desarrollo de este ítem se realizó la verificación de cada una de las características identificadas anteriormente de los manuales internacionales con el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá. Se logró evidenciar algunas diferencias las cuales serán presentadas a continuación para cada parámetro.

8.1.1. Estimación de demanda

La estimación de la demanda es un factor de gran importancia para el correcto diseño y puesta en marcha de un proyecto de vía priorizada para ciclistas y sin importar el tipo de vía. La correlación de este parámetro con los manuales internacionales se encuentra que el método de estimación de demanda es el mismo en todos los casos, tal como se evidencia en los cuadros comparativos mostrados a continuación.

Tabla 24. Análisis estimación de demanda

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Se establece el cálculo de demanda a partir de estudios origen destino.</td><td>Se establece en cálculo de la demanda a partir de cuadros Ods para el tráfico de bicicletas y automóviles teniendo en cuenta los factores de distancia.</td><td>Se establece el cálculo de la demanda a partir de estudios origen- destino.</td></tr>
<tr><td>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</td><td>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</td></tr>
<tr><td>La densidad de ocupación.
El parque industrial y la concentración de servicios.
La adecuación a la demanda.
El coste de construcción
La integración con otros medios de transporte.
La continuidad de la red ciclista</td><td>Cartografía POT
Planos redes técnicas
Estudios origen destino
Planos y rutas de transporte</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

El método de estimación de demanda utilizado en los manuales es el estudio origen destino, basado en censos de población, en los cuales se evidencia el uso de ciertas vías utilizadas por los biciusuarios para acortar el tiempo y distancia de su recorrido. Teniendo en cuenta que de este parámetro se parte para determinar el tipo de cicloruta y sus características a construir, se identifica la necesidad de incluir dentro de los estudios de estimación de demanda la revisión de planes de ordenamiento territorial, proyección de crecimiento de la ciudad, estimación de demanda atraída por la puesta en marcha de la vía priorizada y el Tráfico Promedio Diario (TPD) de la vía por la cual se implementará la cicloruta; esto para garantizar la seguridad de los bici usuarios.

8.1.2. Tipos de vías para bicicletas

Los diferentes espacios destinados al uso priorizados de la bicicleta dependerán directamente de las características de los usuarios y de la zona o lugar donde se proyecte estas vías.

Tabla 25. Análisis tipos de vías

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">*Cicloruta en sitio propio o en andén.
*Ciclorutas en vía compartida.
*Bulevar para bicicletas.
*Vías compartidas.</td><td>*Ciclorutas principales (ciclorutas y ciclopistas)
*Ciclorutas recreativas (Ciclorutas nacionales y ciclopistas)</td><td>*ciclovia bidireccional
*vialidad compartida ciclística
*ciclocarril
*ciclovia unidireccional</td></tr>
<tr><td>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</td><td>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</td></tr>
<tr><td>*Camino verde
*Pista verde
*Carril bici protegido
*Carril bici
*Calle de zona 30
*Acera bici
*Calle de convivencia</td><td>*Cicloruta paisaje rural.
*Cicloruta paisaje sub urbano.
*Cicloruta paisaje urbano - áreas residenciales tradicionales.
*Cicloruta paisaje urbano - áreas residenciales contemporáneas.
*Cicloruta paisaje urbano - áreas residenciales contemporáneas de alta densidad.
*Cicloruta paisaje urbano - centro histórico.
*Cicloruta paisaje urbano - núcleos industriales y servicios metropolitanos.
*Cicloruta paisaje urbano del rio.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

En este parámetro se observa que hay diferentes tipos de infraestructura para bicicletas como lo son: Caminos verdes, pista verde, calle de zona 30 (vías donde la velocidad de los vehículos será máxima de 30 km/h) y cicloruta recreativa. Para cada uno de estos tipos de infraestructura las especificaciones de planificación, diseño y construcción varían dependiendo de las características propias.

En conclusión, el Manual Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá requiere categorizar las vías ciclísticas y clasificarlas dependiendo de la zona de ocupación, los lugares que comunica y el tráfico promedio diario (TPD) de vehículos automotores que circulan por la vía, esto con el fin de implementar una cicloruta que sea cómoda, eficiente y segura.

8.1.3. Dimensiones de la bicicleta

La bicicleta es un medio de transporte el cual tiene una tipología muy diversa que depende en general de las zonas de uso y de las características socioeconómicas de los biciusurarios, hay bicicletas diseñadas para las zonas de montaña, bicicletas de pista o de ruta, bicicletas de carga y bicicletas para el transporte de pasajeros (Bici-taxi). A continuación, se presenta la comparación de este parámetro.

Tabla 26. Análisis dimensiones de la bicicleta

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Ancho: 1,0m
Largo: 1,75m
Alto: 2,25m</td><td>*Bicicletas de turismo; Ancho: 0,5 a 0,6m, largo: 1,8 a 1,95 m y Alto: 1,0 a 1,2 m

*Bicicleta de carrera para adultos; Ancho: 0,45 a 0,6 m, Largo: 1,7 a 1,9 m y Alto: 1,0 a 1,2 m

*Bicicleta de montaña; Ancho: 0,6 a 0,65 m, Largo:1,7 a 1,9 m y Alto: 0,95 a 1,1 m

*Bicicleta reclinada; Ancho: 0,6 a 0,7 m, Largo:1,7 a 2,2 m y Alto: 0,4 a 0,6 m</td><td>*Bicicletas de turismo; Ancho: 0,5 a 0,6m, largo: 1,8 a 1,95 m y Alto: 1,0 a 1,2 m

*Bicicleta de carrera para adultos; Ancho: 0,45 a 0,6 m, Largo: 1,7 a 1,9 m y Alto: 1,0 a 1,2 m

*Bicicleta de montaña; Ancho: 0,6 a 0,65 m, Largo:1,7 a 1,9 m y Alto: 0,95 a 1,1 m

*Bicicleta reclinada; Ancho: 0,6 a 0,7 m, Largo:1,7 a 2,2 m y Alto: 0,4 a 0,6 m</td></tr>
<tr><th>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</th><th>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</th></tr>
<tr><td>*Ancho ciclista estático: 0,60 m
*Ancho de maniobra: 1,00 m
*Ancho confortable: 1,50 m
*Longitud: 1,90 m
*Altura: 2,50 m</td><td>*Plegable; largo:1,40m y ancho: 0,55m

*BMX; largo:1,62m y ancho: 0,71m

*De montaña; largo:1,62m y ancho: 0,6m

*Urbana; largo:1,6m y ancho: 0,6m

*Triciclo de carga; largo:2,15m y ancho: 1,0m

*Bicitaxi estándar; largo:2,72m y ancho: 1,76m</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

El manual de Diseño de Ciclorutas de la ciudad de Bogotá debe adoptar las dimensiones para los diferentes tipos de bicicletas establecidas por los demás manuales estudiados en la presente investigación dado que se encuentra una tipología similar en la ciudad, e incluir las bicicletas de carga y transporte de pasajeros (Bici-taxi), teniendo en cuenta que en la ciudad de Bogotá ya se cuentan con diferentes tipos de bicicletas por lo tanto las dimensiones de la malla vial existente (Cicloruta) no es apta para estos nuevos medios de transporte.

8.1.4. Ancho mínimo

El ancho mínimo es un parámetro muy importante en el diseño de ciclorutas o de cualquier tipo de vía, este aspecto se ve correlacionado a los tipos de vehículos y tipo de vías. Al realizar la correlación entre los manuales en estudio se identifica que no hay variabilidad en los anchos mínimos, pero el tipo de vía, dará diferentes anchos de carril. En conclusión, se deben catalogar estos anchos dependiendo del tipo de vía.

Tabla 27. Análisis ancho mínimo

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">*Ancho pistas unidireccionales: 2,25m
*ancho pistas bidireccionales: 2,75m
*aceras-bici: 1,5m</td><td></td><td>*Ciclocarriles ancho mínimo: 1,5 m
*Carriles compartidos ancho mínimo: 3,9m
*Ciclovia ancho mínimo: 2,0 m</td></tr>
<tr><td>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</td><td>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</td></tr>
<tr><td>*Camino verde con pista agregada para peatones 4m.
*Camino verde compartido con peatones 2,5m.
*Pista-bici bidireccional 2m.
*Pista-bici unidireccional 1,5m.
*Carril bici protegido bidireccional en zona interurbana 2,5m.
*Carril bici protegido unidireccional en zona interurbana 2m.
*Carril bici protegido bidireccional en zona urbana 2m.
*Carril bici protegido unidireccional en zona urbana 1,5m.
*Carril bici unidireccional en zona interurbana 1,5m.
*Carril bici unidireccional en zona urbana 1,5m.
*Carril bici unidireccional en sentido contrario 1,75m.
*Acera-bici unidireccional 1,5m.
*Acera-bici bidireccional 2m.</td><td>Ancho mínimo de 1,3m.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

8.1.5. Velocidad de diseño

Este parámetro de diseño no varía entre los manuales internacionales consultados y el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá, contempla diferentes velocidades dependiendo de las pendientes ascendentes y descendentes existentes en el trazado de la vía y los tipos de vías.

Tabla 28. Análisis velocidad de diseño

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">En tramos planos: 30 km/h.
En pendientes de 3 a 5%: 35 a 45 km/h.
En pendientes entre 6 a 8%: 40 a 55km/h.
En pendientes mayores a 9%: 45 a 60 km/h.</td><td>30 km/h en tramos planos y 35km/h en tramos con pendientes</td><td>En tramos planos: 30km/hr
pendiente de 3 a 5%: 35 a 45km/hr
pendiente de 6 a 8%: 40 a 55km/hr
pendiente > 9%: 45 a 60km/hr</td></tr>
<tr><th>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</th><th>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</th></tr>
<tr><td>Caminos verdes
velocidad general 30km/h
velocidad mínima 20km/h

caminos verdes con segregación de peatones
velocidad general 50km/h
velocidad mínima 30km/h

pista-bici
velocidad general 50km/h
velocidad mínima 30km/h</td><td>*Tramos planos 15 a 20km/h.
*Tramo ascendente mayor al 3% 10 a 15 km/h.
*Tramo descendente mayor al 3% 20 a 40 km/h.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

8.1.6. Pendiente máxima

En el estudio realizado se encontró que este parámetro de diseño no varía con el de los manuales internacionales, aunque se puede limitar la pendiente con respecto a la longitud de esta, teniendo en cuenta las diferentes características de las bicicletas y de los usuarios.

Tabla 29. Análisis pendiente máxima

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Entre 3% Y 10%</td><td>Entre 3% y 9% y cuenta con un factor muy importante como lo es el viento.</td><td>Pendientes máxima del 10%.</td></tr>
<tr><td>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</td><td>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</td></tr>
<tr><td>Pendientes de más de 5% con restricciones en las longitudes en metros.</td><td>Pendientes entre 3% y 9%.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

8.1.7. Sobre anchos de pendiente

El sobre ancho en pendientes es un aspecto ligado a la seguridad de los usuarios en las vías, en el análisis comparativo se evidencia que no hay diferencias en este parámetro, pero se deberá variar las medidas con la implementación de la nueva tipología de las bicicletas; adicional a esto, se debe contar con un ancho mayor, no solo por la maniobrabilidad, sino por si algún ciclista inexperto desea bajarse de su vehículo y continuar el ascenso a pie.

Para el desarrollo de la evaluación de este parámetro se tuvieron en cuenta los manuales de diseño de ciclorutas de México y Medellín, esto dado que los otros manuales internacionales de España y Holanda no contemplan este aspecto por sus condiciones topográficas llanas, como recomendación se sugieren mayores estudios que determinen este parámetro teniendo como base las condiciones de la ciudad de Bogotá.

Tabla 30. Análisis sobre anchos de pendientes

MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS	MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.
Para pendientes entre 3 y 6 %: 0,30m. Pendientes entre 6 y 9 %: 0,40 m. Pendientes mayores a 9%: 0,50 m	Pendientes entre 3 y 5%: 0,2 a 0,3m pendientes entre 6 y 9%: 0,2m a 0,4 m pendientes mayores a 9%: 0,3 a 0,5 m	sobre anchos en ascensos de zona de ladera y curvas horizontales entre 0,4m y 0,6m.
Fuente: propia		

8.1.8. Radios de curvatura mínimos

Los radios de curvatura son factores de diseño enfocados a la seguridad de los usuarios. Los valores diferentes encontrados en el análisis entre el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá y el Manual de Diseño para el tráfico de Bicicletas CROW de Holanda se deben a que la topografía en Holanda no cuenta con grandes cambios de nivel y por lo tanto no requieren curvas para disminuir la pendiente de la vía.
En general los manuales consultados cuentan con fórmulas similares a la presentada por el Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVÍAS).

Tabla 31. Análisis radio de curvatura

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">$$R = \frac{V^2}{12 + (\mathrm{e} + F)}$$
Se calcula por medio de la ecuación #1 con factores de cálculo como la velocidad de diseño, el peralte y el coeficiente de fricción</td><td>Radio mínimo de 5m</td><td>$$R = \frac{0{,}0079V^2}{tan\theta}$$
Se calcula mediante la ecuación #12 y se tienen variables tales como la velocidad de diseño y el ángulo de inclinación del ciclista</td></tr>
<tr><th>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</th><th>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</th></tr>
<tr><td>$$R = \frac{v^2}{127 * (p + f)}$$
Se calcula mediante ecuación #5 y se manejan las variables de velocidad de diseño, peralte de curva y coeficiente de rozamiento transversal</td><td>$$R = \frac{0{,}0079V^2}{tan\theta}$$
Se calcula mediante la ecuación #12 y se tienen variables tales como la velocidad de diseño y el ángulo de inclinación del ciclista</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

8.1.9. Peraltes

En peraltes se evidencia que no hay diferencias con los manuales consultados, a excepción del Manual para el Diseño de Vías Ciclísticas de Cataluña, esto depende del terreno en que se encuentra dicha ciudad y teniendo en cuenta que Bogotá se encuentra ubicada sobre la cordillera de los Andes con grandes pendientes y que los cambios de dirección son constantes, los peraltes que se requieren son de mayor porcentaje.

Tabla 32. Análisis peraltes

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Máximo del 12%.</td><td>Máximo del 10%.</td><td>Peralte máximo del 12%.</td></tr>
<tr><td>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</td><td>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</td></tr>
<tr><td>Peralte recomendado del 2% para curvas circulares coincidirá con el peralte de la curva.</td><td>El peralte máximo para vías unidireccionales es 12% y en vías bidireccionales con pendientes mayores al 4%, es 8%.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

8.1.10. Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad es un aspecto muy importante en la seguridad de los usuarios en las vías. Este parámetro no varía con respecto a los demás manuales consultados. En vista que este depende del radio y de la velocidad de diseño, cada curva será única y dependerá de las características adoptadas por el tipo de cicloruta, adicional a esto las ecuaciones utilizadas contemplan las mismas variables o son las mismas.

Tabla 33. Análisis distancia de visibilidad

<table>
<tr><th>MANUAL DE DISEÑO DE CICLORUTAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.</th><th>MANUAL DE DISEÑO PARA EL TRAFICO DE BICICLETAS CROW HOLANDA</th><th>MANUAL INTEGRAL DE MOVILIDAD CICLÍSTICA PARA CIUDADES MEXICANAS</th></tr>
<tr><td rowspan="3">$$S = \frac{V^2}{255(\mathrm{G} + F)} + 0.694V$$
Se calcula mediante ecuación #2, donde se manejan factores de cálculo como lo son la velocidad de diseño, el coeficiente de fricción y la pendiente.</td><td></td><td>$$S = \frac{V^2}{255(\mathrm{G} + F)} + 0.694V$$
Se calcula mediante ecuación #14 mediante los factores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción y pendiente.</td></tr>
<tr><th>MANUAL PARA EL DISEÑO DE VÍAS CICLÍSTICAS DE CATALUÑA</th><th>MANUAL DE CICLO INFRAESTRUCTURA METROPOLITANA – VALLE DE ABURRÁ.</th></tr>
<tr><td>Está en función del tiempo de percepción y reacción del ciclista, el coeficiente de rozamiento horizontal, la inclinación de la rasante y la velocidad de diseño.</td><td>$$\mathrm{S} = \frac{V^2}{255\left(\left(\frac{G}{100}\right) \pm F\right) + V/1.4}$$
Calculado mediante ecuación #8, este se establece por medio de los factores como velocidad de diseño, coeficiente de fricción y pendiente.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuente: propia</td></tr>
</table>

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se realizó un estado del arte sobre manuales de diseño de ciclorutas a nivel internacional, donde se encontraron manuales de países como Holanda, España y México siendo estos considerados por varias publicaciones de carácter investigativo y otros manuales como referentes de gran relevancia. Se eligieron estos manuales dado que tienen un gran avance en la infraestructura de vías ciclísticas, el manual de la ciudad de México por la similitud en cuanto a sus características topográficas y condiciones socioeconómicas de este con el de la ciudad de Bogotá; el manual de Cataluña España por su detalle en la clasificación de vías ciclísticas; el manual de Holanda por estar citado en la construcción de otros manuales incluyendo el de la ciudad de Bogotá, y por último se incluye al estado del arte el manual de la ciudad de Medellín ya que cuenta con normativa nacional vigente, unas condiciones topográficas similares a la de la ciudad de Bogotá y la incorporación de los bicitaxis en los diseños.

Al estudiar los manuales internacionales presentados en la investigación se establecieron aquellos parámetros fundamentales en el diseño de las ciclorutas, entre estas características se encontraron los radios de giro, las velocidades de diseño, las pendientes, sobre anchos, tipología de bicicletas y tipos de vías ciclísticas; estos criterios fueron estudiados en cada uno de los manuales para precisar los valores o ecuaciones presentados por cada uno y así realizar la comparación entre estos.

En la revisión de los parámetros técnicos de diseño de los manuales internacionales con respecto al Manual de diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá, se encontraron algunas diferencias en cuanto a métodos de estimación y valores mínimos o máximos establecidos para cada una de las características asumidas para esta investigación.

A continuación, se relacionan las recomendaciones en las cuales se proponen alternativas de cambio directas dentro del Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá:

1. En el numeral 1.2.5.3 (Modelo técnico para estimación de demanda) incluir dentro de los estudios la revisión de Planes de Ordenamiento Territorial (POT), proyección de crecimiento de la ciudad, estimación de demanda atraída, Trafico Promedio Diario (TPD) y estudios de intensidad de flujos de ciclistas; tal como es especificado en el análisis comparativo presentado en el desarrollo del documento.
   Esto debido a que las ciclorutas actuales, no contemplan dichos estudios, los cuales son pilar fundamental en las características generales de las ciclorutas

a diseñar, tal como es presentado en el análisis del presente documento y con lo cual se le brindará mayor seguridad y confort a los biciusuarios.

2. En el numeral 1.3.1 (Tipos de infraestructura para bicicletas) es necesario re categorizar los tipos de vías, clasificarlas según el entorno por el cual se implementa dicha vía (Cicloruta urbana, cicloruta interurbana y cicloruta rural), esta nueva categorización permitirá incluir nuevos tipos de infraestructura vial como lo son: caminos verdes, pistas verdes, calle de zona 30 y calle de convivencia, estableciendo para cada uno de estos tipos, características únicas de diseño.
   Lo anterior con el fin de evitar la puesta en marcha de infraestructuras ciclísticas por entornos poco idóneos, los cuales generan mayor congestión vehicular para el tráfico motorizado y una red ciclística no transitada, adicionalmente esta nueva clasificación permitirá que se incluyan las características únicas para cada cicloruta y su entorno.

3. En el numeral 1.3.4.1 (Espacio útil del ciclista) se evidencia que este sub capitulo es en el que mayor cantidad de modificaciones se requieren, puesto que, es mínima la información que presenta el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá, en el que se relacionan dimensiones estándar de la bicicleta, y no se tienen en cuenta parámetros mencionados en el análisis comparativo.
   Teniendo en cuenta que la tipología ciclística es tan diversa como se evidenció en el numeral 7.1.4.3 del presente trabajo y las dimensiones de cada vehículo no motorizado son tan variables, se debe generar e incluir en el Manual de diseño de ciclorutas de la ciudad de Bogotá un listado de los diferentes tipos de bicicletas que circulan por la ciudad, esto con el fin de diseñar una infraestructura ciclística acorde a esas nuevas dimensiones, con el fin de generar mayor seguridad, bienestar y confort a los biciusuarios, adicional a esto, esas nuevas dimensiones generaran cambios en los parámetros de diseño de las ciclorutas.

4. En el numeral 1.3.4.9 (Longitud de curva vertical) se presenta la ecuación para determinar la mínima longitud de curva vertical, esta contempla una variable de cálculo (H2) la cual representa la altura de un objeto, pero en realidad es considerado como una constante de 0.0 m y al momento de remplazarlo en la ecuación generaría una indeterminación matemática.
   La inexactitud en cuanto a lo que representa H2 en la ecuación genera ambigüedad, por lo cual desde la autoría del presente trabajo se recomienda realizar una verificación y posterior corrección al mencionado criterio.

Esta investigación atribuye a la clasificación del tipo de infraestructura ciclística como el parámetro de mayor relevancia para la óptima planificación y diseño de ciclorutas, teniendo en cuenta, que los diferentes parámetros de diseño están vinculados al tipo de infraestructura que se posee, la velocidad de diseño dependerá de la cicloruta que se tiene, el ancho de carril variará según la velocidad de diseño, los sobreanchos del ancho de diseño inicial y la distancia de visibilidad de la velocidad de diseño. En síntesis, todos los parámetros de diseño variarán con respecto al tipo de infraestructura ciclística seleccionada.

A pesar de su tiempo de publicación, el Manual de Diseño de Ciclorutas de la Ciudad de Bogotá es un documento muy completo, consideramos, que implementando los criterios anteriormente descritos por nosotros hará del manual un referente de gran relevancia a nivel internacional, por otra parte, es necesario que el manual deje de servir como una guía y pase a ser una normativa.

El limitante más destacado al momento de desarrollar esta investigación, fue la selección de los manuales de diseño internacionales que tuvieran algunas características similares a las de Bogotá, esto, con el fin de poder crear correlaciones de parámetros con características similares. Adicionalmente consideramos que deben ser materia de investigación parámetros como señalización, interacción con otros medios de transporte y lo concerniente con biciparqueaderos o biciparadas como los presentes en los manuales europeos.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI, Manual de diseño y construcción de los elementos constitutivos del espacio público. Santiago de Cali. 2003.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA. Manual de ciclo infraestructura metropolitana. Plan maestro metropolitano de la bicicleta del valle de aburra. Medellín 2015.

CHAMORRO Jairo y RODRÍGUEZ Andrea, análisis de la operación del sistema de ciclorrutas en la ciudad de Bogotá, comparado con los modelos aplicados en Medellín, chile, Guadalajara, Canadá y Holanda. Universidad católica de Colombia. Bogotá. 2015.

CROW, Manual de diseño de tráfico de bicicletas de Holanda, Holanda. 2006.

DEPARTAMENTO DE POLITICA TERRITORIAL Y OBRAS PÚBLICAS. Manual para el diseño de vías ciclísticas de Cataluña. España, 2008.

INSTITUTO PARA POLÍTICAS DE TRANSPORTE Y DESARROLLO. Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas. Cuauhtémoc, México. 2011.

DELORENZO Ismael y THENOUX Guillermo, Estudio y evaluación del diseño de ciclovías en Santiago y comparación con estándares y normativas internacionales. Pontificia Universidad Católica de chile. Santiago de chile. 2015.

DIGIOIA, Jonathan. Safety impacts of bicycle infrastructure: a critical review. Georgia institute of Technology. Georgia. 2014.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU), ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ, Manual de diseño de ciclorrutas de la ciudad de Bogotá. Bogotá d.c.1998.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU), Infraestructura cicloinclusiva, Bogotá. (consultado: 09 de marzo de 2018) disponible en internet: https://www.idu.gov.co/page/cicloruta.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU). Manual de diseño de ciclorrutas. Bogotá D.C. 1999.

J CORTEZ, Uso de la bicicleta sigue creciendo en la ciudad, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Bogotá D.C. 2014. (consultado:09 de marzo de 2018) Disponible en internet: http://www.bogota.gov.co/content/uso-de-la-bicicleta-siguen-creciendo-en-la-ciudad.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, Bogotá. 2002.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, Guía de ciclo infraestructura para ciudades colombianas. Bogotá, Colombia – 2016.

MORA, María Fernanda y GALVIS, Javier Eduardo. Estudio comparativo entre ciclo-rutas y bici-carriles en Bogotá desde la infraestructura y la calidad del desplazamiento. Universidad de la Salle. Bogotá. 2016.

MUNICIPALIDAD DE LIMA. Manual de criterios de diseño de infraestructura ciclo inclusiva y guía de circulación de ciclista. Lima. 2017.

SECRETARIA GENERAL ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Pedaleando por Bogotá. Bogotá D.C. (consultado: 12 de marzo de 2018) disponible en internet: https://bit.ly/2GOeTDP

VELANDIA, Edder. Bici –on, la bici y el ebicke alternativas de transporte sustentable para Bogotá. Universidad de la Salle. kreafit s.a.s. Bogotá D.C. 2014.