



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

GUÍA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE CICLOVÍAS PARA COSTA RICA

PITRA

Programa de
Infraestructura del
Transporte

USVT

Unidad de
Seguridad Vial y
Transporte

GUÍA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE CICLOVÍAS PARA COSTA RICA

LM-PI-USVT-007-15

Acuña-Leiva, Roberto¹; Hernández-Vega, Henry²; Jiménez-Romero, Diana³; Zamora-Rojas, Javier⁴; y Loría-Salazar, Luis. Guillermo⁵

1. Licenciado en Ingeniería Civil de la UCR y asistente en la USVT del LanammeUCR
2. Ingeniero de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR
3. Ingeniero de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR
4. Ingeniero de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR
5. Coordinador general Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) LanammeUCR

Palabras clave: *Ciclovia, bicicleta, usuario, guía de diseño y evaluación, caracterización, índice de compatibilidad de bicicletas, mapa y factor de flujo, transporte*

Resumen: *La guía se encuentra dirigida a profesionales que estén involucrados en temas de seguridad vial, movilidad activa, desarrollo sostenible, entre otros. Incluye aspectos de la planificación, diseño y evaluación de ciclovías. Además, se presenta un listado de documentos complementarios que podrían remitir al usuario de la guía interesados en aspectos específicos con un grado mayor de detalle.*

Referencias principales (se puede consultar el resto al final del documento)

1. BiciRed. (2010). Manual de diseño para infraestructura de cilovías. Instituto Natura.
2. IDU. (1999). Manual de diseño de ciclorutas. Bogotá: Alcandía Mayor de Santa Fe de Bogotá D.C.
3. ITDP. (2011b). Ciclociudades Tomo 4. Infraestructura. Ciudad de México: Grupo Fogra.
4. FHWA. (1998). The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept, Implementation Manual. Washington, DC.: Federal Highway Administration.
5. FHWA. (2006). University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation. McLean: Federal Highway Administration.
6. Minvu. (2015). Vialidad Ciclo-Inclusiva. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
7. NACTO. (2011). Urban Bikeway Desing Guide. New York: National Association of City Transportation Officials.
8. SIECA. (2014). Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Ciudad de Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.

Acuña-Leiva, R., Hernández-Vega, H., Jiménez-Romero, D., Zamora-Rojas, J., & Loría-Salazar, L. G. (2015). *Guía de diseño y evaluación de ciclovías para Costa Rica LM-PI-USVT-007-15*. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.

1. Guía: LM-PI-USVT-007-15

2. Copia No. 1

3. Título: Guía de diseño y evaluación de ciclovías para Costa Rica

4. Fecha de guía: 29 de enero del 2016

5. Organización y dirección:

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440

6. Notas complementarias: No aplican

7. Resumen:

La guía se encuentra dirigida a profesionales que estén involucrados en temas de seguridad vial, movilidad activa, desarrollo sostenible, entre otros. Incluye aspectos de la planificación, diseño y evaluación de ciclovías. Además, se presenta un listado de documentos complementarios que podrían remitir al usuario de la guía interesados en aspectos específicos con un grado mayor de detalle.

8. Palabras clave: Ciclovía, bicicleta, usuario, guía de diseño y evaluación, caracterización, índice de compatibilidad de bicicletas, mapa y factor de flujo, transporte.

9. Nivel de seguridad: Ninguno

10. Núm. de páginas: 90

11. Preparado por:

Roberto Acuña Leiva

Ing. Henry Hernández Vega, MSc.

Autor principal

12. Revisado por:

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc., MBA

Ing. Javier Zamora Rojas , MScE

13. Aprobado por:

Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D.

14. Diseño y diagramación

Roberto Acuña Leiva

15. Diseño de portada

Daniela Martínez Ortíz

Unidades

b/h: bicicletas por hora

cm: centímetros

₡: colones

km: kilómetros

km/h: kilómetros por hora

m: metros

m²: metros cuadrados

m/s: metros por segundo

min: minutos

min⁻¹: revoluciones por minuto (rpm)

V/h: vehículos livianos por hora

P/h: vehículos pesados por hora



Abreviaturas

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials (Estados Unidos de América)

BCI: Bicycle Compatibility Index (Índice de Compatibilidad para Bicicletas)

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

BMX: Bike Moto Cross

COSEV: Consejo de Seguridad Vial

DCP: Department of City Planning (Los Angeles y New York, Estados Unidos de América)

DDOT: District Department of Transportation (Washington, Estados Unidos de América)

DGT: Dirección General de Tráfico (España)

FHWA: Federal Highway Administration (Estados Unidos de América)

GAM: Gran Área Metropolitana

HCM: Highway Capacity Manual

IDU: Instituto de Desarrollo Urbano (Colombia)

ITDP: Institute for Transportation and Development Policy (Estados Unidos Mexicanos)

ITE: Institute of Transportation Engineers

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

LTSA: Land Transport Safety Authority (Nueva Zelanda)

Minvu: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (República de Chile)

MnDOT: Minnesota Department of Transportation (Estados Unidos de América)

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

NACTO: National Association of City Transportation Officials (Estados Unidos de América)



NCDOT: North Carolina Department of Transportation (Estados Unidos de América)

NCHRP: Nacional Cooperative Highway Research Program (Estados Unidos de América)

NJDOT: New Jersey Department of Transportation (Estados Unidos de América)

NPRA: Norwegian Public Roads Administration (Noruega)

NSW: New South Wales (Nueva Gales del Sur, Mancomunidad de Australia)

O-D: Origen-Destino

OMS: Organización Mundial de la Salud

PITRA: Programa de Infraestructura de Transportes del Lanam-meUCR

PND: Plan Nacional de Desarrollo

PRUGAM: Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana

SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana

TfL: Transport for London

TPD: Tránsito Promedio Diario

UCR: Universidad de Costa Rica

WisDOT: Wisconsin Department of Transportation (Estados Unidos de América)

Índice general

Capítulo 1: Introducción	1
La importancia de promover la bicicleta	3
Justificación de una guía para Costa Rica	7
Capítulo 2: La bicicleta como medio de transporte	9
Historia y concepto	11
Tipos de bicicleta	13
Bici-pública	16
Capítulo 3: Facilidades para ciclistas	19
Vía de bicicleta (ciclovía) con carril compartido	22
Vía de bicicleta (ciclovía) con carril exclusivo	23
Carril delimitado	23
Carril segregado	24
Principios para una infraestructura ciclo-incluyente	25
Capítulo 4: Planificación de una facilidad para bicicletas	27
Planeamiento del transporte	29
Conteos de ciclistas y factores de expansión	30
Ciudad de Cartago (zona urbana dentro del GAM)	32
Punturenas (zona rural)	33
Parque industrial de Cartago (zonas cercanas)	34
Uso de los factores de expansión	35
Encuestas	35
Tamaño de muestra	36
Matrices origen-destino (O-D)	37
Determinar el tipo de vía de bicicletas	39
Capítulo 5: Diseño de ciclovías	41
Ancho de carril	44
Carril unidireccional	45





Carril bidireccional	46
Anchos de carril en función al volumen de ciclistas.....	46
Inconvenientes de las vías bidireccionales	47
Velocidad de diseño	48
Pendientes	49
Sobreancho.....	50
Peralte	51
Radios de giro.....	51
Coeficiente de fricción	52
Distancia de visibilidad.....	53
Superficie de rodamiento.....	54
Intersecciones.....	58
Giro a la derecha y cruce en línea recta.....	59
Giro a la izquierda	61
Capítulo 6: Infraestructura complementaria.....	63
Medidas de tráfico calmado	65
Bolardos	66
Barras de confinamiento	66
Señalización y demarcación	67
Semáforos	68
Estacionamientos de bicicletas	68
Capítulo 7: Evaluación de ciclovías	71
Metodologías de evaluación	73
Índice de compatibilidad para bicicletas	75
Factores de ajuste.....	76
Evaluación de diseño geométrico.....	78
Instrucciones para el cuadro de verificación.....	78
Seguridad vial	80
Percepción de los usuarios.....	81
Referencias	83

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tipos de facilidades para ciclistas.....	21
Cuadro 2. Anchos de ciclovía en función al volumen de ciclistas.....	46
Cuadro 3. Velocidades de diseño.....	49
Cuadro 4. Longitud de tramo de ciclovía según la pendiente.....	49
Cuadro 5. Sobreancho por pendiente y longitud de tramo ...	50
Cuadro 6. Sobreancho de acuerdo al radio de giro	50
Cuadro 7. Radios de giro	52
Cuadro 8. Distancias de frenado	53
Cuadro 9. Despejes laterales.....	54
Cuadro 10. Factores de ajuste por volumen de pesados.....	76
Cuadro 11. Factores de ajuste por tiempo de parqueo.....	76
Cuadro 12. Factores de ajuste por giros a la derecha	76
Cuadro 13. Niveles de BCI.....	77
Cuadro 14. Tabla para evaluar el diseño geométrico	78
Cuadro 15. Ejemplo de evaluación de diseño geométrico....	79
Cuadro 16. Evaluación de seguridad: lista de chequeo.....	80





Presentación

En las siguientes páginas se encuentran temas los principios para el diseño y evaluación para facilidades de ciclistas, este es un primer esfuerzo de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT) del LanammeUCR junto al estudiante Roberto Acuña Leiva de la Licenciatura en Ingeniería Civil con su trabajo de graduación, para generar en el país documentos técnicos específicos para la movilidad en bicicleta. La promoción de facilidades para usuarios vulnerables de la vía es parte de las transformaciones que la sociedad necesita para alcanzar el bien común.

La guía se encuentra dirigida a profesionales que estén involucrados en temas de seguridad vial, movilidad activa, desarrollo sostenible, entre otros. La guía incluye aspectos de la planificación, diseño y evaluación de ciclovías. Además, se presenta un listado de documentos complementarios que podrían remitir al usuario de la guía interesados en aspectos específicos con un grado mayor de detalle. Invito también a los interesados en el tema, o con consultas en alguno de los temas planteados en este documento, para que se acerquen a nuestra Unidad de Seguridad Vial y Transporte.

El desarrollo de estos temas está enlazado con el objetivo principal del PITRA - LanammeUCR: “contribuir a desarrollar y conservar la infraestructura de transportes del país con eficiencia, calidad, y seguridad; con el propósito de mejorar la calidad de vida y la competitividad de los ciudadanos”.

Finalmente, que este documento sirva como motivación a todos los profesionales en el sector de infraestructura vial a que se nos unan en este esfuerzo por garantizar la calidad y la eficiencia de la inversión pública en la red vial del país.

Ing. Henry Hernández Vega, MSc.
Unidad de Seguridad Vial y Transporte
USVT-LanammeUCR







Capítulo 1

Introducción



La importancia de promover la bicicleta

Al aumentar la población y el nivel de ingreso en el país, aumenta también el número de vehículos de uso privado en las vías y, por lo tanto, la congestión vehicular. Es por esto que se debe de buscar soluciones como son las ciclovías para integrar a los usuarios de la bicicleta en la planificación vial del país, pero se necesitan soluciones que no solo se construyan si no que estén bien implementadas para que cumplan con su propósito. El Banco Interamericano de Desarrollo define la importancia del ciclismo como: “una opción de movilidad con alto potencial para reducir algunos de los problemas de nuestras ciudades: la congestión de tráfico, la mala calidad del aire y las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático” (BID, 2015); también dice que la bicicleta es una opción de transporte que contribuye al desarrollo y a la competitividad de las ciudades. Un estudio del impacto de las bicicletas económico en Toronto revela que hay un impacto positivo en los negocios de las comunidades urbanas que cuentan con carriles y parqueos de bicicleta porque aumenta simultáneamente la capacidad de la carretera y de compra de las personas (Arancibia, 2013). Sus afirmaciones las demuestra con encuestas a dueños de negocios, de ellos el 65 % afirma que ha obtenido impactos positivos sobre su negocio la implementación del carril de bicicletas, además en algunos casos hay un mayor porcentaje clientes que llega en bicicleta que en automóvil.

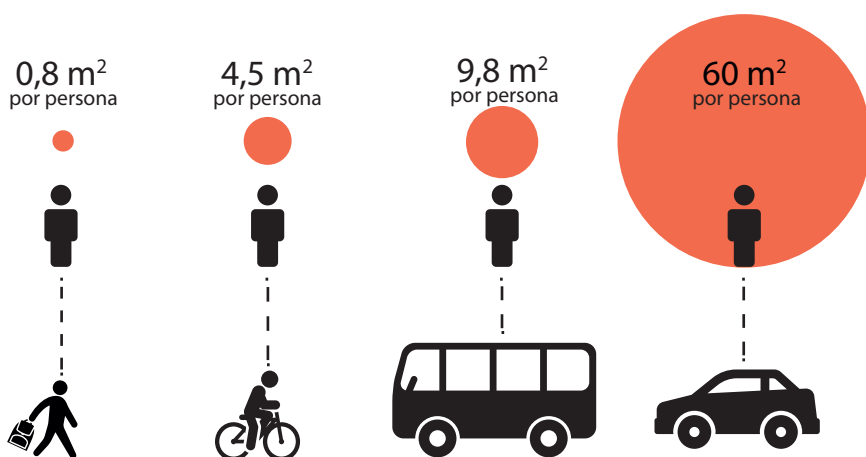


Crear facilidades para los ciclistas impacta positivamente los negocios cercanos. Por ejemplo, facilitar parqueos para bicicletas con vigilancia durante el 2do Festival Gastronómico de la Luz en Barrio Escalante de San José.





El implementar facilidades para los ciclistas representa una gran ventaja para transportarse en los centros urbanos porque en bicicleta se puede movilizar más rápido que por medio de transporte privado, así lo deja claro Brenes (2014), exdirector del PRUGAM; “las velocidades normales que ahora se puede alcanzar con él en el medio urbano son muy bajas -de unos 8 km/h en la Gran Área Metropolitana (GAM)-, y cuesta mucho estacionarse. Mientras, la marcha en bicicleta puede hacerse a 20 km/h; o sea, pedaleando durante 20 o 30 minutos se llegaría desde San José centro hasta Desamparados...” (pág. 26). Lo anterior deja en evidencia que actualmente se le da completamente prioridad al transporte privado. Además el transporte en vehículo privado demanda una cantidad de espacio por metro cuadrado por persona muy elevada comparada con otros medios de transporte (Minvu, 2015). La siguiente imagen muestra la demanda de espacio en metro cuadrado por persona en función de su medio de transporte.

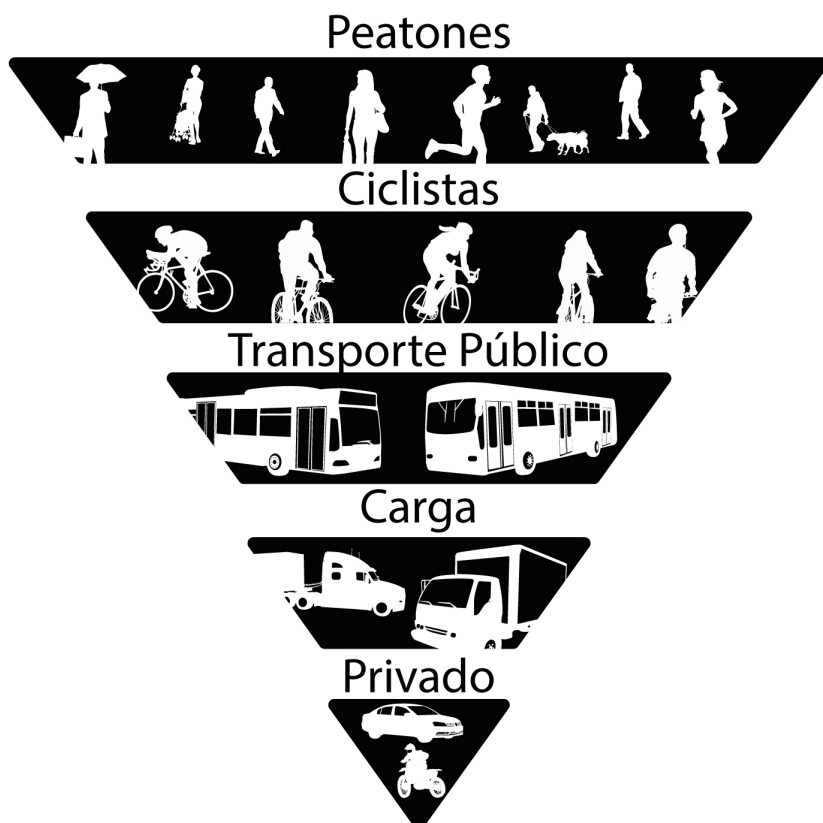


El transporte en vehículo privado demanda una cantidad de espacio por metro cuadrado por persona muy elevada comparada con otros medios de transporte.

Nota: Elaboración propia a partir de Minvu, 2015



No debe de relacionarse la estrechez de las calles con los embotellamientos de San José porque si bien es una realidad en nuestra capital, se tiene el ejemplo de muchas ciudades con excelente movilidad como Ámsterdam, Houten, Copenhague y Brujas cuyas calles estrechas son una característica distintiva (Pendones, 2014). La siguiente imagen muestra la jerarquía de los modos de transporte, siendo la prioridad los peatones que se encuentran en la cima de la pirámide inversa y por último el transporte privado en la parte más baja. La prioridad de inversión y equidad aumenta de abajo hacia arriba, por el contrario el costo pasajero/kilometro disminuye de la base a la cima.



Pirámide de la jerarquía del medio de transporte, no significa que una persona que conduzca un vehículo privado valga menos que la que anda en bicicleta, pero el usuario de la bicicleta debe tener la prioridad en la vía y el espacio público.

Nota: Elaboración propia a partir de ITDP, 2011; CROW 2011; Minvu 2015



Existe una afectación negativa del medio ambiente debido al transporte realizado con vehículos automotores se encuentra relacionada con la emisión de gases y se ha tratado de disminuir al controlar las emisiones con la apertura de RTV (Centro de Revisión Técnica Vehicular). En el 2007 Costa Rica adquirió el compromiso de convertirse en el 2021 en un país carbono neutral para disminuir las emisiones de gases del efecto invernadero, siendo en particular el sector de transporte la mayor fuente de emisiones según el último inventario realizado en el 2005 (Solís, 2013).

La seguridad vial es un aspecto a tomar en cuenta cuando se toca el tema del transporte, la cual encabeza diariamente noticias en los medios de comunicación por la carencia de condiciones adecuadas para un tránsito seguro. La congestión vehicular también afecta negativamente los niveles de servicio de las vías nacionales, provocando estrés a los conductores por el aumento del tiempo de viaje. La salud de los usuarios también es un factor relacionado con el medio de transporte utilizado. Como se visualiza en los resultados de un estudio realizado en la población austríaca (Wen, 2008) sobre la asociación de varios modos de transporte para ir al trabajo con el sobrepeso y la obesidad, los resultados indicaron que el mayor porcentaje de personas con estos problemas son los que viajan en transporte privado y los menos propensos son los que utilizan la bicicleta.

Por lo tanto, es importante promover el uso de la bicicleta por ser un medio de transporte que no produce emisiones de gases al ser libre de combustibles fósiles y beneficia la salud del usuario. Además, es necesario que la bicicleta forme parte en los planes de transporte de nuestro país. “Para lograr un tratamiento integral de la planificación de una infraestructura ciclo-amistosa, ésta debe formar parte integral de un amplio plan de tráfico y transporte. Es solo entonces que es posible equilibrar los intereses de los distintos usuarios y, a su vez, asegurar que cada modo de transporte tenga el lugar más funcional y efectivo” (CROW, 2011, pág. 17).



En Costa Rica se han construido facilidades para ciclistas, pero se desconoce a ciencia cierta qué tan efectivas han sido estas infraestructuras, no se trata únicamente de construir la ciclovía. Se debe dar seguimiento con el fin de verificar el uso efectivo de los fondos utilizados. Por ejemplo, se desea conocer si se están atrayendo a nuevos usuarios, o si por el contrario los porcentajes de crecimiento se mantienen constantes o disminuyen. De la revisión bibliográfica previa únicamente se encontró un estudio en el país realizado por la Municipalidad de Cartago. Este estudio muestra el crecimiento de la población de ciclistas, indicando que entre el 2014 y el 2015 el porcentaje de utilización de la ciclovía ha aumentado en 25 % (Mullins, 2015).

La ausencia de documentos relacionados con el diseño de facilidades para ciclistas en el país, justifica la realización una guía para diseñar y evaluar las ciclovías. El BID (2015) no menciona a Costa Rica entre los países con manuales o guías de diseño. Además, no se conoce a ciencia cierta si las instancias del gobierno han utilizado manuales de otros países para el diseño e implementación de las ciclovías. Por lo tanto, para dar respuestas a preguntas como: ¿Se ha brindado a los usuarios un proceso de educación para el uso de las ciclovías? ¿Se han

En algunas zonas del país la implementación de una ciclovía es necesaria. Por ejemplo, en la fotografía se observa la calle 80, ubicada en El Tejar de El Guarco, Cartago. La calle tiene un flujo alto de ciclistas que se trasladan al parque industrial.





planificado considerando los patrones de movilidad de estos usuarios? ¿Han sido construidas como son requeridas y la movilidad en ellas no se dificulta? ¿Las facilidades presentan deficiencias funcionales y de seguridad vial?, entre otras.

Durante el desarrollo del trabajo se entrevistó a varias personas que están o han estado relacionadas con las ciclovías en el país, indagando para conocer cómo fueron implementadas y los retos que tuvieron, además averiguar qué criterios fueron utilizados para sus diseños y el manual técnico utilizado. De acuerdo con Brenes (O. Brenes, comunicación personal, 23 de octubre de 2015), ingeniero de la Municipalidad de Puntarenas, sobre la nueva ciclovía que se está planeando construir para El Roble y Barranca, señaló que utiliza el manual de Perú (BiciRed, 2010) para diseñar la ciclovía que tendrá tres metros de ancho y será bidireccional.

El manual de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2014), es prácticamente la única fuente de consulta en el país que contiene información técnica para los usuarios de la bicicleta. Sin embargo, se limita a señalización, demarcación y abarca parcialmente el tema de estacionamiento. El manual de SIECA (2014) carece de una sección para el diseño de ciclovías, como también para su evaluación.

En el Capítulo 5 se presenta un listado de los principales manuales consultados para la elaboración de este documento.



Capítulo 2

La bicicleta como medio de transporte



La bicicleta es considerada uno de los inventos más interesantes e innovadores de todos los tiempos, tomado como un símbolo de libertad, sistema técnico, eficiente y fiable de transporte (ITDP, 2011a).

La bicicleta a lo largo del tiempo ha tenido tres finalidades en cuanto a uso que son la recreación, el deporte y el transporte. Las dos primeras finalidades son muy bien comprendidas por la población sin importar los niveles económicos, pero la finalidad de transporte no ha tenido muy buen recibimiento en el contexto actual. Este medio ha sido desplazado por el automóvil al posicionarse, este último, como un símbolo de estatus y poder adquisitivo. A pesar de esto, la bicicleta es un medio de transporte eficiente al ser práctico para recorrer distancias menores a 10 kilómetros (Machado, 2010), adicionalmente es amigable con el medio ambiente. Es por esto, que la bicicleta es reconocida actualmente, en muchos países, como un vehículo más y está presente en algunos casos en los reglamentos de tránsito de los países.

La bicicleta se define técnicamente como un vehículo de dos ruedas de tracción humana a pedales que alcanza velocidades promedio entre 15 km/h a 20 km/h, se considera que es eficiente en términos de uso de energía, uso de materiales, durabilidad y mantenimiento. Para su conducción se deben seguir las mismas reglas dispuestas para los medios motorizados respetando el señalamiento así como también el sentido de circulación. Entre los tipos de bicicleta los hay muchos pero se tiene por ejemplo bicicletas de turismo, montaña, con canasta, de ruta, entre otros. Algunas otras características según CROW (2011):



LA BICICLETA

- Funciona con los músculos como motor.
- Es inestable, razones fuera de la voluntad del ciclista como vientos, turbulencias por camiones, baches, hoyos y bajas velocidades determinan estabilidad y el ancho de la vía.
- No tiene una zona de protección de golpes, esta vulnerabilidad significa que los ciclistas no pueden andar entre automóviles que avanzan a alta velocidad o por vías con una alta concentración de camiones.
- La bicicleta tiene muy poca amortiguación por lo que se debe tener una superficie pareja y sin baches como condición mínima para cumplir los requisitos de una infraestructura amigable con las personas que viajan en bicicleta.



En Puntarenas la bicicleta es uno de los principales medios de transporte y es utilizada también con fines recreativos y para deporte. En la foto se observan personas que se trasladan a sus trabajos en bicicleta antes de las siete de la mañana.

Tipos de bicicleta

El tipo de bicicleta influye en el diseño de la infraestructura, principalmente en sus anchos y radios de giros. Es por ello que hay que tomar en cuenta las distintas variaciones de este medio para diseñar ciclovías que le permitan a cualquier usuario circular.

Las siguientes imágenes muestran los tipos de bicicletas de uso común en el país, los cuales son de montaña, ruta, banana, BMX (Bike Moto Cross), públicas (o de alquiler) y bicicletas con canastas frontales o traseras. ITDP (2011b) brinda las características de este medio no motorizado que se reducen a sus dimensiones y formas de sus componentes. Respecto a las dimensiones se tiene el alto, ancho, largo y radio de giro (para una velocidad de diseño de 20 km/h), relacionando estrechamente el ancho con el de la calzada de la ciclovía, la altura para evitar que el ciclista colisione con obstáculos en su parte superior y por último el radio de giro que incide en el diseño de los giros de la ciclovía.

Bicicleta de montaña



Altura 1,78 m / Ancho 0,65 m / Largo 1,62 m / Radio giro 6,65 m



Bicicleta de ruta



Altura 1,62 m / Ancho 0,50 m / Largo 1,55 m / Radio giro 7,5 m

Bicicleta banana



Altura 1,79 m / Ancho 0,55 m / Largo 1,71 m / Radio giro 8,62 m

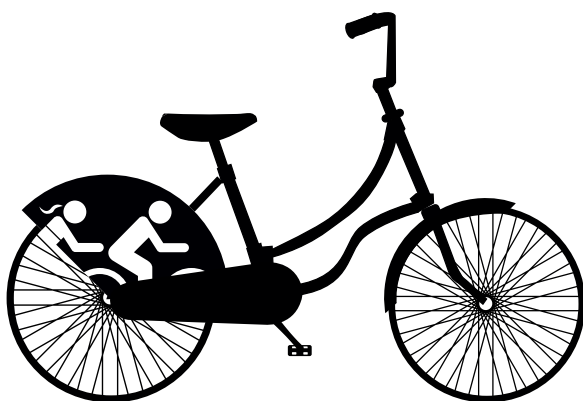


BMX



Altura 1,60 m / Ancho 0,51 m / Largo 1,62 m / Radio giro 8,10 m

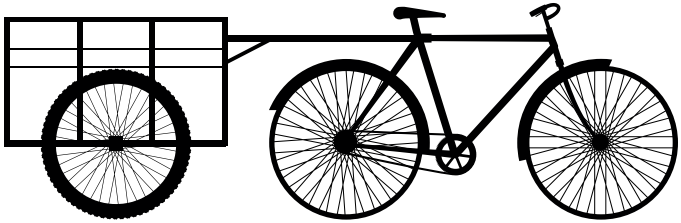
Bicicleta pública



Altura 1,75 m / Ancho 0,60 m / Largo 1,71 m / Radio giro 7,50 m



Bicicleta con canasta de carga



Altura 1,79 m / Ancho 1,00 m / Largo 3,08 m / Radio giro 10,81 m

Bici-pública

La bicicleta pública aplica para Cartago porque es la única ciudad en el país que actualmente cuenta con el servicio de alquiler de bicicletas en un esfuerzo para promover el uso de este vehículo junto con la utilización de la ciclovía. En otros lugares del país se alquilan o prestan bicicletas como en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica (UCR), en el Cantón de Montes de Oca y en lugares turísticos, por ejemplo en





Por día la Municipalidad de Cartago presta 50 bicicletas. En las fotos se observa la estación de bici-pública que se encuentra en las instalaciones del Tecnológico de Costa Rica (TEC).

Puntarenas por la terminal del Ferry y en Puerto Viejo de Limón.

El BID (2015) señala que la bicicleta pública ha mejorado la percepción hacia la bicicleta y ha logrado una reorientación de políticas urbanas para su inclusión.







Capítulo 3
**Facilidades
para ciclistas**





Según el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA, 2001) se tienen las siguientes definiciones de tipos de facilidades para ciclistas:

Cuadro 1. Tipos de facilidades para ciclistas

	Definición
Vía de bicicletas (ciclovía)	Es cualquier camino, calle o paso que está designado específicamente para el viaje en bicicleta, sin importar si tal infraestructura fue designada para el uso exclusivo de bicicletas o es compartido con otros modos de transporte.
Senda de bicicletas	En esta infraestructura los vehículos automotores están prohibidos y la senda es exclusiva para el uso de bicicletas, se puede dar el uso compartido con peatones. Cuando las sendas forman parte de una carretera, están separadas de los carriles para vehículos motorizados por un espacio abierto o una baranda
Carril exclusivo para bicicletas	Fracción de la calzada o del espaldón que se designada para uso de ciclistas. Se diferencia de la calzada destinada al tránsito automotor por una línea pintada, cordón, o algunas veces por un bordillo que se construye para crear una separación física entre estos flujos.
Vía compartida	Vía que oficialmente está designada y demarcada como ruta de bicicletas pero que permite el tránsito a los vehículos automotores y por lo tanto no hay un carril exclusivo para bicicletas.
Ruta de bicicletas	Es un sistema de vías de bicicletas designado mediante señalamiento apropiado por parte de las autoridades de cada país.

Fuente: SIECA, 2001





En síntesis, las facilidades para los ciclistas se resumen en el conjunto de elementos y dispositivos destinados a facilitar el tránsito para la circulación de bicicletas proporcionando un viaje seguro y eficiente, lo cual se logra aislando, en la mayoría de los casos, a los ciclistas de los vehículos motorizados. Se puede decir, además, que según la literatura las ciclovías se diferencian en dos aspectos muy remarcados: ciclovía con carril exclusivo o con carril compartido.

Vía de bicicleta (ciclovía) con carril compartido

Este carril es aquel donde se le da prioridad al ciclista que comparte el espacio con el tránsito automotor y por lo general siempre se localiza en el extremo derecho, se pueden implementar en las arterias y vías colectoras. El crear estos carriles es una buena primera medida dado que genera un espacio para la circulación del ciclista y atrae usuarios de este medio. ITDP (2011b) da las siguientes recomendaciones para este tipo de ciclovía:

Carril compartido

- Vías susceptibles a intervenir: vías locales, residenciales y vías colectoras con velocidades permitidas de hasta 30 km/h.
- Sección: los carriles de circulación deben ser entre 3,90 m y 4,30 m de ancho, para permitir el rebase del ciclista con una distancia de un metro.
- Delimitación: raya doble en el costado izquierdo del carril compartido para delimitar el carril exclusivo. En el caso de existir estacionamiento en la vía pública, se debe colocar una franja de mínimo medio metro de ancho en el costado derecho como amortiguamiento.
- Es recomendable evitar la implementación de un carril compartido cuando este tiene un ancho entre 3,10 m y 3,80 m porque puede crearse confusión en los automovilistas en cuanto a la distancia que deben guardar con los ciclistas.



Vía de bicicleta (ciclovía) con carril exclusivo

La vía de bicicleta con carril exclusivo se puede clasificar dependiendo si el carril es delimitado o segregado, siendo la diferencia principal la existencia de un elemento físico que separe a los ciclistas de los vehículos automotores, la siguiente información ha sido extraída del ITDP (2011b).

Carril delimitado

El carril delimitado es una franja dentro del flujo vehicular destinada a la circulación exclusiva de ciclistas, este se delimita con el señalamiento en el lado derecho de la vía y es unidireccional en el mismo sentido de los vehículos. Se utiliza en arterias sin estacionamientos o en colectoras con estacionamientos derechos. Las vías susceptibles a intervenir: arterias y vías colectoras con velocidades permitidas de hasta 50 km/h.

Se debe redistribuir el espacio vial ajustando el ancho de todos los carriles o eliminando un carril de circulación o de estacionamientos, los carriles al lado de la ciclovía debe medir mínimo tres metros en áreas urbanas. Debe existir señalamiento vertical y horizontal indicando la prohibición de motocicletas y cuando existan estacionamientos se debe colocar una franja de amortiguamiento cuyo ancho mínimo debe ser de 0,5 m. Se debe aplicar la ley para castigar y multar a los que estacionen ilegalmente en el carril de ciclistas.



Carril exclusivo delimitado para bicicletas en Londres, Inglaterra.

Nota: Tomada por H. Hernández Vega en enero del 2015



Carril segregado

Este tipo de carril es semejante al carril delimitado con la diferencia que cuenta con una separación física con el flujo automotor. Se siguen las mismas pautas, sentido de circulación unidireccional coincidiendo con el de los automotores y estableciéndose en el lado derecho. Se especifica las siguientes características para un carril segregado. Las vías susceptibles a intervenir son arterias y vías colectoras con velocidades permitidas de hasta 70 km/h.

Al igual que los anteriores tipos de carril, para implementarlo se debe redistribuir el espacio vial, existir señalamiento vertical y horizontal y de haber estacionamientos contar con una franja de amortiguamiento de 0,50 metros.



El carril segregado como ventaja da una mejor percepción de comodidad y seguridad por lo que atrae a usuarios nuevos y existentes, da una mejora de la imagen urbana y demuestra el cambio de prioridad contra los automóviles.



Como desventajas su implementación es más costosa y dura más tiempo en realizarse. Además, el carril exclusivo es una implementación difícil porque reduce la capacidad de la vía por lo que requiere apoyo político y de la policía de tránsito para evitar estacionamientos ilegales en el derecho de vía de los ciclistas.



Ciclovía con carril exclusivo en Montreal, Canadá.

Nota: Tomada por J. Zamora Rojas en junio del 2011



Principios para una infraestructura ciclo-incluyente

Para ser ciclo-incluyente, una red de vías para bicicleta debe cumplir diversos requisitos que se formulan en beneficio de los ciclistas; dichos requerimientos también constituyen un valioso referente para diseñar nuevas facilidades y evaluar las existentes (ITDP, 2011b). Los principios son:

Conectiva



Segura



Continua



Cómoda



Directa



Atractiva







Capítulo 4

Planificación de una vía para bicicletas



Planeamiento del transporte



El planeamiento del transporte consiste en siete elementos que se encuentran relacionados pero no en orden secuencial, la información de uno puede requerirse para un elemento posterior o anterior, por lo tanto el planeamiento es un esfuerzo continuo que conduce a una decisión final (Garber & Hoel, 2005), los elementos básicos son:

- Definición de la situación
- Definición del problema
- Búsqueda de soluciones
- Análisis de desempeño
- Evaluación de alternativas
- Selección del proyecto
- Especificación y construcción



Es importante tomar en cuenta todos los elementos de planeamiento del transporte, los alrededores del parque industrial de Cartago son altamente transitados por ciclistas que requieren de mejores condiciones como la realización de una vía para bicicletas.



Los elementos anteriores son aplicables para cualquier modo, incluyendo los ciclistas. El planeamiento para el transporte en bicicleta es importante porque los ciclistas tienen las mismas necesidades de movilidad como las tienen todos los usuarios de las carreteras en otros modos de movilización, por lo que planeamiento de bicicletas debe ser incluido en la planeación del transporte (AASHTO, 1999).

La guía se enfoca en obtener volúmenes de ciclistas y matrices origen - destino con el fin de conocer el trazo de nuevas vías para bicicletas.

Conteos de ciclistas y factores de expansión

Para obtener el volumen de ciclistas deben realizarse conteos automáticos o manuales. La ventaja de los conteos automáticos consiste en que pueden realizarse, en periodos de una semana y las 24 horas del día para que de esta manera se pueda obtener el volumen continuo durante todos los días. Como desventajas se pueden

Colocación de contadores automáticos en calle 80 en El Tejar de El Guarco, cercanías del parque industrial.





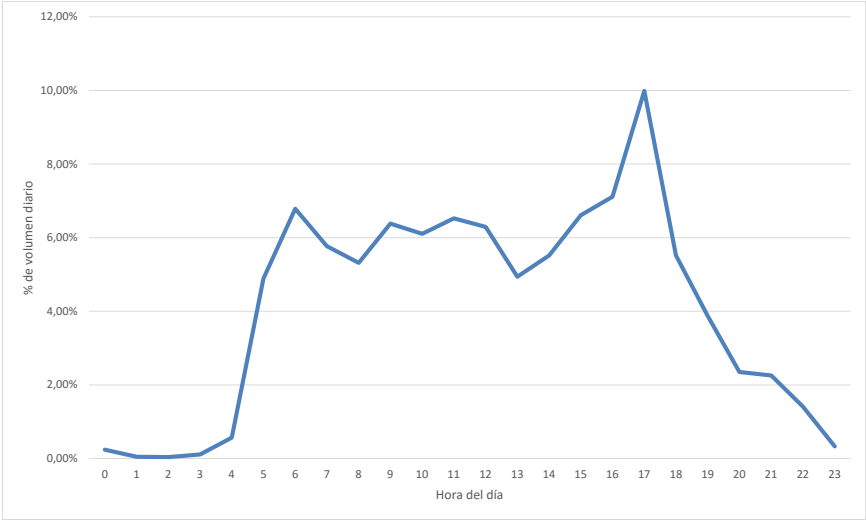
citar el alto costo de adquirir el equipo y que requieren constantes revisiones en caso de que ocurra un desprendimiento de los tubos neumáticos (mangueras). Además, se debe procurar que las mangueras cubran toda la superficie de rodamiento y así evitar que los ciclistas esquiven el área en donde se está realizando el conteo. La imagen de la página anterior muestra a dos estudiantes de la UCR instalando contadores en las zonas cercanas al parque industrial de Cartago.

Los conteos manuales tienen la ventaja que no requieren de equipo especial. Sin embargo, estos conteos demandan muchos recursos, dentro de los que cabe destacar el tiempo y la asignación de personal de campo. Una alternativa es verificar si se cuenta con conteos a lo largo del día en zonas cercanas o con comportamiento semejante. Realizando conteos de al menos un par de horas se puede estimar el volumen del resto del día y utilizar los factores de expansión de las zonas con comportamiento semejante. Los siguientes gráficos muestran la distribución de los ciclistas durante los días entre semana y a lo largo de la semana.

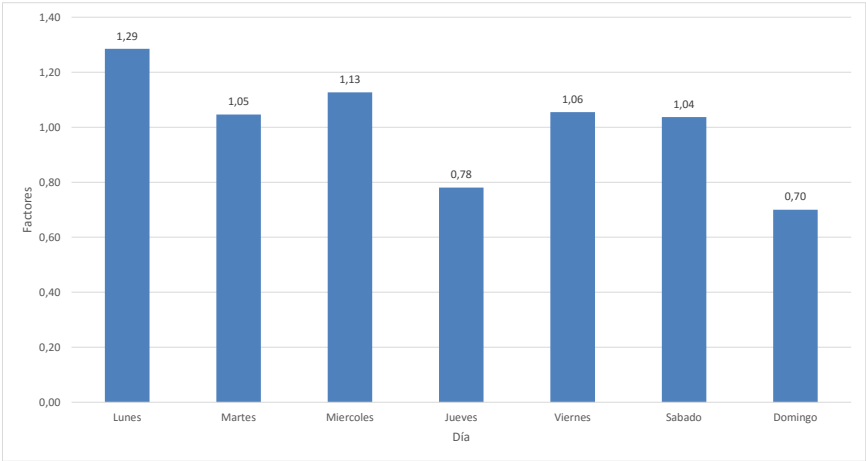




32 Ciudad de Cartago (zona urbana dentro del GAM)



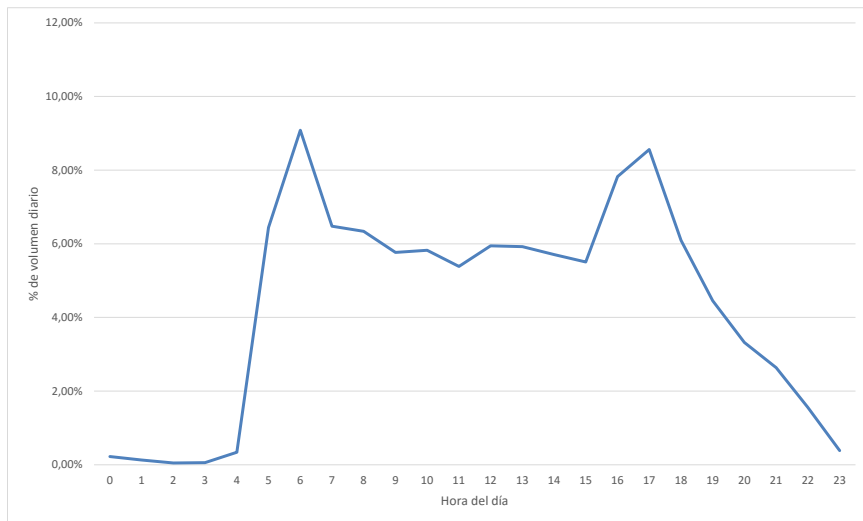
Porcentaje por hora del volumen diario de ciclistas en la ciudad de Cartago



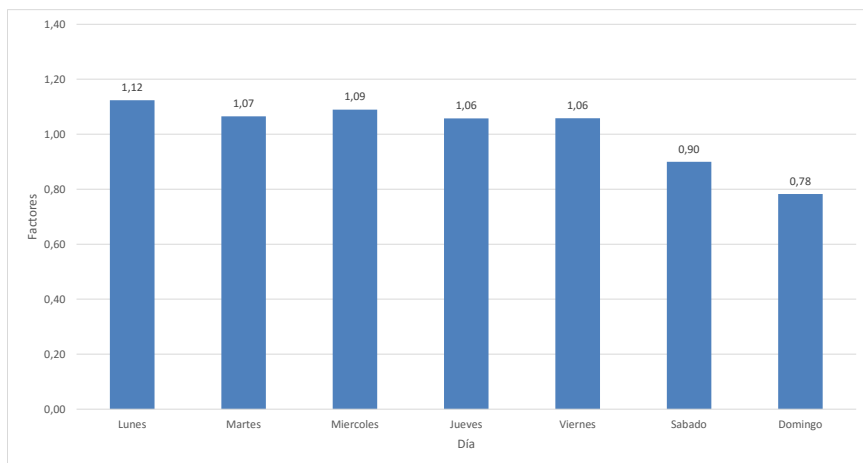
Factores del volumen diario de ciclistas en la ciudad de Cartago



Puntarenas (zona rural)



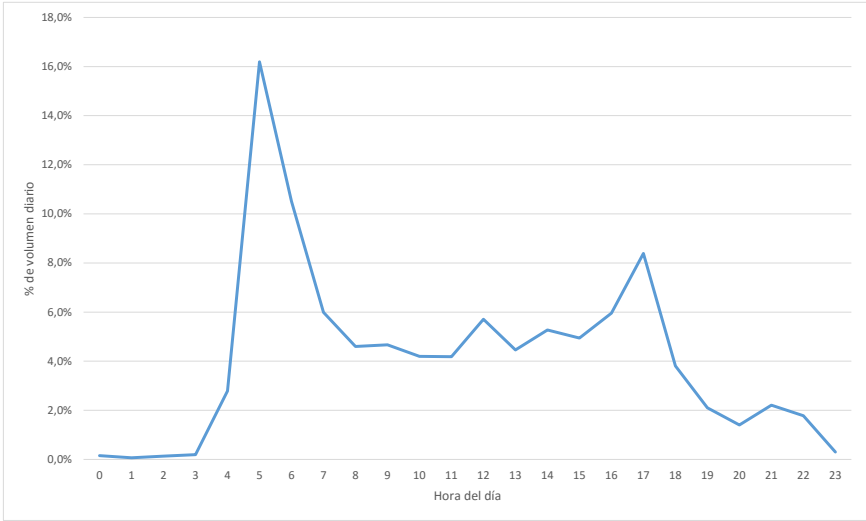
Porcentaje por hora del volumen diario de ciclistas en Puntarenas



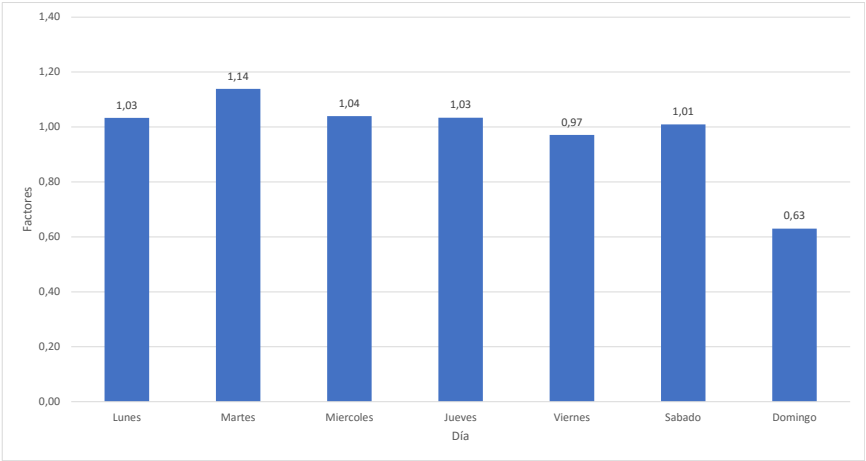
Factores del volumen diario de ciclistas en la ciudad de Puntarenas



34 Parque industrial de Cartago (zonas cercanas)



Porcentaje por hora del volumen diario de ciclistas en zonas cercanas al parque industrial de Cartago



Factores del volumen diario de ciclistas en en zonas cercanas al parque industrial de Cartago



Uso de los factores de expansión

Como ejemplo se utilizará el gráfico de distribución de porcentaje por hora del volumen diario de ciclistas en la ciudad de Cartago. Por ejemplo, de 6 am a 7 pm se cuentan 50 ciclistas y esa hora corresponde al 6,8 % del volumen total durante el día según el gráfico. En ese caso, al dividir el volumen de ciclistas de esa hora entre el porcentaje correspondiente ($50 / 0,068$), se estima que el flujo total durante todo el día es de 736 ciclistas aproximadamente.

De requerirse una hora exacta, por ejemplo de 5 pm a 6 pm, se utiliza el porcentaje de volumen (que en ese caso es de 10 %) y volumen total diario estimado de 736. Estimando de esta manera un total de 74 ciclistas entre las 5 pm y las 6 pm.

Encuestas

De la literatura se obtiene este tipo de encuesta la cual es apropiada para ciclistas. La encuesta “a la vera del camino” proporciona información útil sobre viajes que no son registrados en las encuestas domiciliarias. Por lo general, este tipo de encuestas constituyen un mejor modo para estimar matrices de viajes porque se entrevista en la vía pública a los usuarios de la vía que se crucen con la estación de encuesta (Willumsen, 2008).

La realización de este tipo de encuestas requiere mucha organización y planificación para evitar retrasos innecesarios, garantizar la seguridad y lograr resultados de calidad. Estas encuestas constituyen un mejor método para estimar matrices origen-destino (O-D) de los viajes y las características de estos, además el encuestador debe de poder añadir algunos datos derivados de la observación como el sexo del encuestado. Se debe identificar los mejores lugares para llevarla a cabo, coordinar con la policía, disponer de señalización y supervisión para lograr una adecuada realización de la encuesta (Willumsen, 2008).



Tamaño de muestra

Para obtener el tamaño de la muestra se debe realizar previamente conteos de ciclista para así cuantificar la población. Se puede considerar a la población como el flujo de ciclistas que transitan durante los periodos pico. Con el tamaño de la población se puede obtener la muestra utilizando la ecuación propuesta por Willumsen (2008):

$$n \geq \frac{p(1-p)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{p(1-p)}{N}} \quad (1)$$

Donde:

p : porcentaje de que tantos viajeros del total viajan entre un par O-D, siendo $p=0,5$ el valor más conservador

e : error asociados que puede ser de 0,1 (10 %)

z : igual a 1,96 para un nivel de confianza de 95 %

N : tamaño de la población (obtenido por medio de conteos)



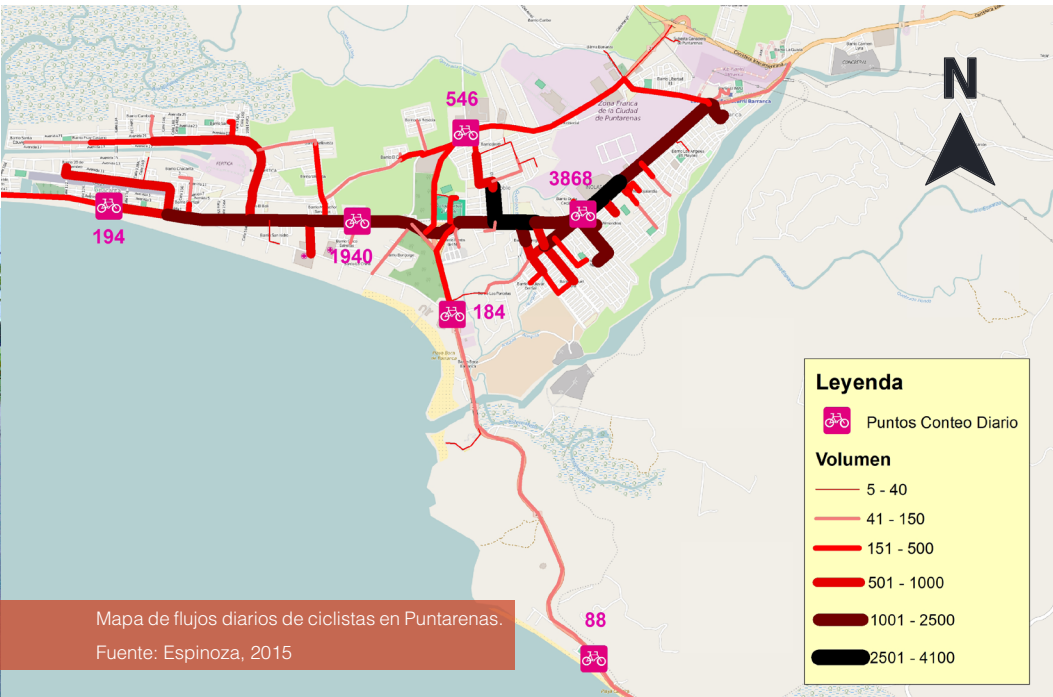
Las encuestas a la vera del camino constituyen un buen método para obtener matrices origen y destino pero se deben de hacer rápidamente para que el usuario continúe su camino.



Matrices origen-destino (O-D)

Las matrices O-D son una herramienta muy útil para tener un panorama del flujo de ciclistas y sus rutas. De esa manera, al implementar una facilidad para ciclistas como lo es una vía de bicicletas, se puede saber en cuáles puntos conectar la ciclovía y no caer en el error de realizar una infraestructura que no sea útil o prioritaria para los ciclistas.

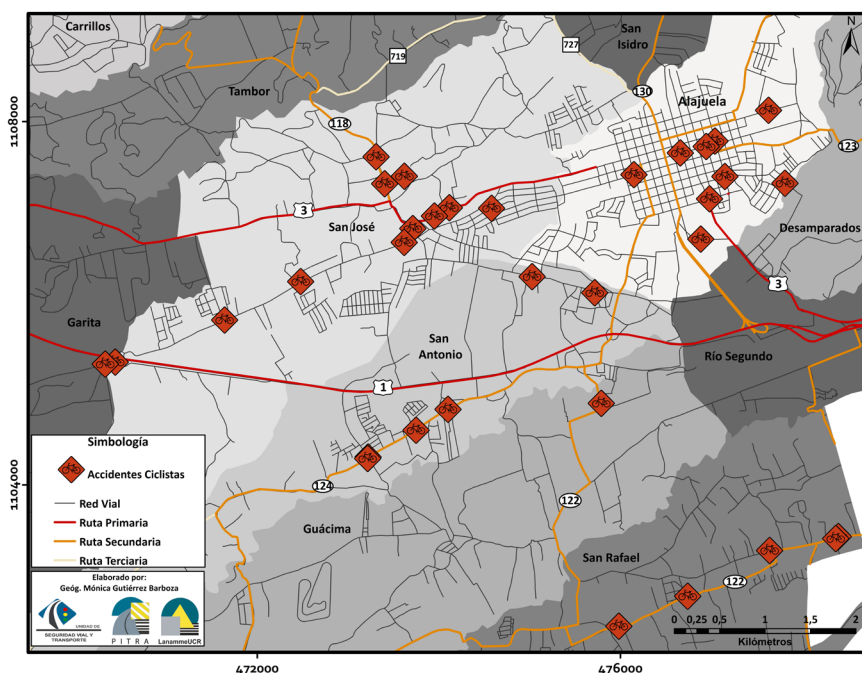
La herramienta más adecuada para estimar la matriz O-D es por medio de encuestas, ya sea que únicamente se le pregunte a los usuarios de la bicicleta de la región de estudio de donde vienen y hacia donde van, o que el origen y destino sea parte de las preguntas que componen la encuesta. Es recomendable que las encuestas sean realizadas en los periodos pico identificados con los conteos. La siguiente figura muestra un mapa de los flujos diarios de ciclistas en Puntarenas, confeccionado a partir de una matriz O-D.





Otra herramienta para estimar el trazado de una ciclo-vía, es utilizando información de accidentes con ciclistas involucrados. De haber un tramo donde han ocurrido varios accidentes con ciclistas, la implementación de una ciclovía podría considerarse. Al implementarse la infraestructura, se mejoraría el índice de compatibilidad para bicicletas, haciendo que la vía sea más amigable para los ciclistas.

El siguiente mapa es elaborado por la Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT) del LanammeUCR con datos de accidentes del COSEVI del 2008 y 2009 en Alajuela. En él, se puede observar que existe una concentración de accidentes entre Garita y el centro de Alajuela. Implementar una facilidad para ciclistas como lo es una ciclovía es prioritario en ese sector sobre otros lugares. Por lo tanto el conocer donde ocurren los accidentes ayuda a determinar el trazo de una vía para bicicletas.



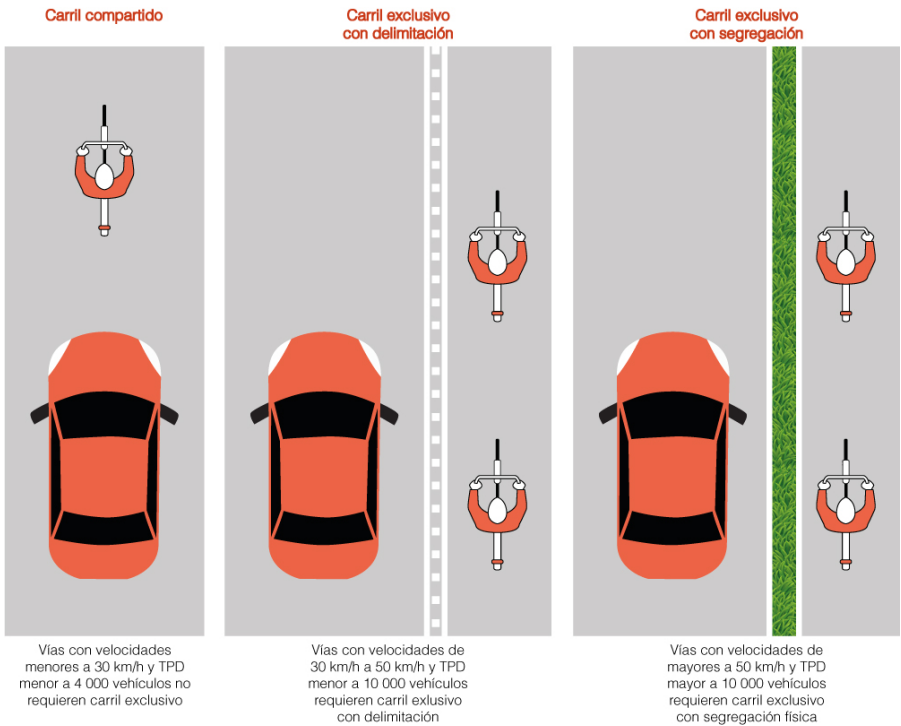
Distribución espacial de accidentes de tránsito con ciclistas involucrados en el cantón de Alajuela.

Nota: Elaborado a partir del informe "Distribución espacial de accidentes de tránsito en el cantón de Alajuela, en los años 2008 - 2009" del COSEVI (2011)



Determinar el tipo de vía de bicicletas

De acuerdo al Capítulo 3, se tienen tres tipos de vías de bicicleta que conviven de alguna forma con el tráfico automotor. La clasificación del tipo de vía depende de la velocidad de operación de los vehículos (percentil 85) y el tránsito promedio diario (TPD) del camino. Sin embargo, utilizar la velocidad de la vía es suficiente para realizar la clasificación. En la siguiente ilustración se muestra la clasificación de las vías para bicicleta:



Clasificación del tipo de vía de bicicletas recomendado de acuerdo a la velocidad de operación y TPD.

Nota: Elaboración propia a partir de Minvu, 2015; límites de TPD de Austroads, 2014





Capítulo 5

Diseño de ciclovías





Las ciclovías, como toda estructura vial, tienen características esenciales que las componen y definen. Muchas de estas características guardan semejanza con el diseño geométrico de carreteras. La literatura consultada se compone de manuales de lugares que poseen mayor experiencia en el desarrollo de infraestructura ciclista como por ejemplo Canadá, Chile, Colombia, Estados Unidos, Holanda, México y Reino Unido. Las localizaciones anteriores consideran la bicicleta como una solución a los problemas de transporte y en sus planes de políticas consideran a los ciclistas. Además, sus manuales están referenciados entre sí, habiendo homogeneidad entre ellos.

La lista de los principales documentos consultados es:

- AASHTO (1999) - Guide for development of bicycle facilities
- Austroads (2014) - Cycling Aspects of Austroads Guides
- BiciRed (2010) - Manual de diseño para infraestructura de ciclovías
- CROW (2011) - Manual de diseño para el tráfico de bicicletas
- DCP (2011) - 2010 Bicycle Plan: Technical Design Handbook
- IDU (1999) - Plan maestro de ciclo rutas
- FHWA (2015) - Separated Bike Lane: Planning and Design Guide
- ITDP (2011b)- Ciclo-ciudades Tomo IV: Infraestructura
- MINVU (2015) - Vialidad ciclo-inclusiva: Recomendaciones de diseño
- MnDOT (2007) - Bikeway Facility Design Manual
- National Transport Authority (2011) - National Cycle Manual
- NACTO (2011) - Urban bikeway design guide
- NCDOT (1994) - Bicycle Facility Planning and Design Guidelines
- NCHRP (2014) - Report 766 Recommended bicycle lane widths for various roadway characteristics



- NJDOT (s.f.) - Bicycle Compatible Roadways and Bikeways: Planning and Design Guidelines
- NSW (2005)- Bicycle Guidelines
- Transport for London (2014) - London Cycling Design Standards
- Urban Systems (s.f.)- Pedestrian and Bicycle Facility Design Guidance
- WisDOT (2004)- Bicycle Facility Design Handbook

Ancho de carril

El ancho de carril se le conoce como sección libre, compuesta por el ancho de la bicicleta y los espacios para el zigzag y los movimientos para evasión de obstáculos (CROW, 2011). El ancho típico de la bicicleta considerado en el diseño es usualmente 0,75 m (Transport for London, 2014; CROW, 2011; ITDP, 2011b). En varios manuales solo se menciona el ancho de carril unidireccional, porque se acostumbra hacerse así y en otros se toman en cuenta los carriles bidireccionales. Según un estudio en Estados Unidos los carriles de bicicleta muy anchos no proveen un beneficio adicional ni afecta la posición lateral de los ciclistas y se recomiendan anchos de 1,2 m a 1,5 m en carriles unidireccionales (NCHRP, 2014). El ancho puede depender del volumen de ciclistas por hora o día (Transport for London, 2014) y también puede ser fijo sin importar el volumen del flujo de ciclistas.

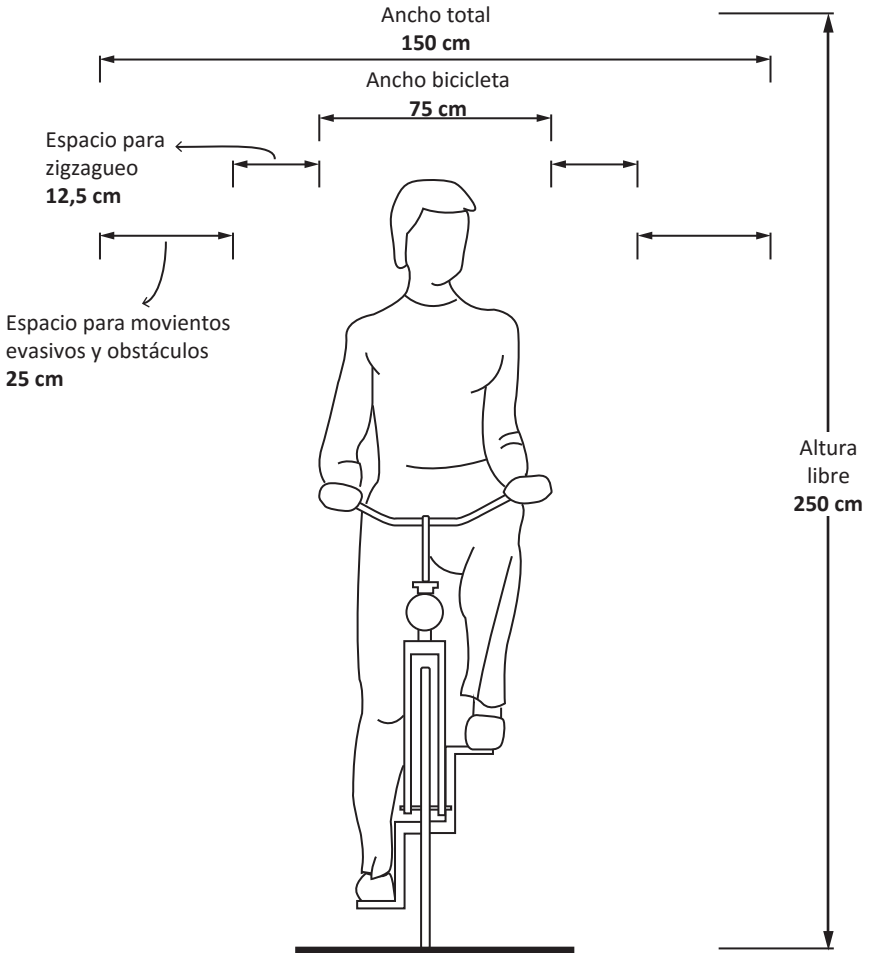
Es importante darle mantenimiento a las vías de bicicleta para evitar que la vegetación disminuya el ancho efectivo como es el caso de la fotografía.





Carril unidireccional

Se recomienda que el ancho del carril unidireccional sea de 1,5 metros como mínimo (Austroads, 2014; AASHTO, 1999; BiciRed, 2010; MnDOT, 2007; NCDOT, 1994). La siguiente figura muestra el ancho unidireccional y las secciones que lo componen.



Componentes del ancho de un carril para bicicletas unidireccional.

Nota: Elaboración propia a partir de BiciRed, 2010



Carril bidireccional

El ancho mínimo recomendado para vías de bicicletas bidireccionales es de 2,4 metros (Austroads, 2014; DCP, 2011; Minvu, 2015; BiciRed, 2010; WisDOT, 2004; MnDOT, 2007). Sin embargo, este ancho es muy ajustado para dos bicicletas, por lo que se recomienda tener en cuenta los siguiente aspectos de acuerdo al WisDOT (2004):

- El tráfico de bicicletas es bajo incluso en horas pico
- Ocasionalmente hay peatones
- El alineamiento horizontal y vertical es bueno, permitiendo ocasionalmente los adelantamientos
- La longitud del carril es corta y comunica con barrios

De no cumplir en su mayoría los anteriores aspectos, el ancho idóneo es de tres metros (AASHTO, 1999; NC-DOT, 1994; WisDOT, 2004).

Anchos de carril en función al volumen de ciclistas

Los anchos de las vías para bicicletas pueden estar en función al volumen máximo por hora (b/h) y tienden a ser mayores que los indicados anteriormente, independientes al flujo de bicicletas, por lo que son más conservadores y difíciles de cumplir. Se recomienda que en primer instancia se tenga como objetivo los anchos fijos y si las condiciones lo permiten, tratar de alcanzar los que dependen del volumen. En el siguiente cuadro el volumen unidireccional es de una vía y en el bidireccional es de ambas.

Cuadro 2. Anchos de ciclovía en función al volumen de ciclistas

Vía unidireccional		Vía bidireccional	
Volumen máximo (b/h)	Ancho (m)	Volumen máximo por sentido (b/h)	Ancho (m)
0 a 150	2,00	0 a 50	2,50
151 a 750	3,00 (2,50 min)	51 a 150	2,50 a 3,00
> 750	4,00 (3,50 min)	> 150	3,50 a 4,00

Fuente: CROW, 2011; ITDP, 2011



Inconvenientes de las vías bidireccionales

Se aconseja tratar de que las ciclovías sean unidireccionales y que vayan en la dirección del flujo automotor adyacente. De acuerdo a WisDOT (2004) y la FHWA (2006) las ciclovías bidireccionales a un lado del carril de vehículos motorizados tienen los siguientes problemas:

- Un carril de bicicletas va en contra del flujo automotor
- Hay un aumento de choques de bicicletas con vehículos motorizados
- Algunos ciclistas podrían estar viajando contra vía, ya sea para entrar a la ciclovía o cuando se sale de ella
- Puede ocurrir que al realizar un giro, los conductores de vehículos motorizados no esperen bicicletas que transitan en contra de la dirección de los vehículos automotores

La siguiente fotografía de la ciclovía de Puntarenas, al frente del Hotel Double Tree Resort, es un ejemplo del problema de las ciclovías bidireccionales. Un conductor que vaya a ingresar a la Ruta Nacional 23 (conecta Caldera con Ruta Nacional 1) probablemente irá viendo a su izquierda para hacer el ceda, sin percatarse de los ciclistas que se acerquen a su derecha. Actualmente en la intersección el ciclista no tiene la prioridad de paso y debe detenerse para cruzar.

Un ejemplo del problema de las ciclovías bidireccionales se manifiesta cuando los conductores que ingresan a la Ruta Nacional 23 pueden no observar a los ciclistas que se acercan desde su derecha.





Velocidad de diseño

Según CROW (2011) la frecuencia del pedaleo de un ciclista promedio es de unas 70 revoluciones por minuto (rpm o m^{-1}) produciendo velocidades entre los 15 km/h y 20 km/h. El circular a bajas velocidades (menores a 12 km/h) hace que la bicicleta sea más inestable y por ende ocupe más espacio para el zigzagüeo para mantener la estabilidad del vehículo. Por lo tanto se debe garantizar, al diseñar la ciclovía, que la velocidad sea mayor a 12 km/h. Existen factores que afectan la velocidad del ciclista como lo son el usuario, el vehículo y el entorno; la siguiente figura describe estos factores:



Factores que afectan la velocidad del ciclista

Nota: Elaboración propia a partir de ITDP, 2011

La velocidad de diseño está en función de la pendiente negativa (entre 3 % a 9 %) y la longitud del tramo. Por ejemplo, para una pendiente de 3 % y un trayecto menor a 75 m, la velocidad es de 35 km/h y para una pendiente de 9 % y un tramo mayor a 150 m, la velocidad de diseño es de 60 km/h (BiciRed, 2010). Es recomendable que los caminos sean diseñados con una velocidad de 30 km/h (Austroads, 2014), la velocidad de diseño se puede mantener a lo largo de la ciclovía si las condiciones son idóneas como buen clima, terreno plano y buena superficie de rodamiento (IDU, 1999). La velocidad de diseño se define en función de la pendiente y la longitud del tramo de acuerdo al Cuadro 3.



Cuadro 3. Velocidades de diseño

Pendiente (%)	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: IDU, 1999

Pendientes

Al diseñar las pendientes se debe contemplar dos aspectos: el trabajo requerido para ascenderla y la seguridad cuando se desciende en ellas (CROW, 2011). La pendiente máxima recomendable es de 5 % a 6 % en tramos de 240 m (AASHTO, 1999). Más allá de ese valor causan fatiga al usuario por lo que los tramos deben ser menores. Cuando la pendiente no es mayor al 3 % se considera como plano porque no tiende a afectar al ciclista y este puede desarrollar tramos largos (IDU, 1999).

Claro está que si la ciclovía va estar contenida en una vía pública la pendiente será la de esa calle, pero se debe buscar de hacer en trazo en vías que cumplan con la pendiente máxima recomendada para ciclistas. Al diseñar se debe utilizar la pendiente negativa, caso crítico, por lo que el valor se introduce con signo negativo.

Cuadro 4. Longitud de tramo de ciclovía según la pendiente

Pendiente (%)	Definición
5 a 6	hasta 240 m
7	hasta 120 m
8	hasta 90 m
9	hasta 60 m
10	hasta 30 m
> 11	hasta 15 m

Fuente: AASHTO, 1999



Sobreancho

El ancho contemplado en el diseño de la infraestructura también se ve afectado por la pendiente, que afecta a la vez la velocidad de diseño al descender. Por lo tanto, se ocupa de más espacio para maniobrar y en el caso contrario cuando se asciende el ciclista ocupa espacio para desplazarse de un lado a otro para mantener su equilibrio; por esto el carril debe contar con sobreanchos. El sobreancho al igual que la velocidad de diseño, está en función de la pendiente y la longitud de tramo.

Cuadro 5. Sobreancho por pendiente y longitud de tramo

Pendiente (%)	Longitud (m)		
	25 a 75	75 a 150	> 150
3 a 5	0 cm	20 cm	30 cm
6 a 8	20 cm	30 cm	40 cm
> 9	30 cm	40 cm	50 cm

Fuente: ITDP, 2011b; BiciRed, 2010; IDU, 1999

El sobreancho es utilizado también en las curvas cuando estas tienen un radio menor a 32 m porque los ciclistas tienden a inclinarse, incrementando la posibilidad de colisión (IDU, 1999). Para evitar esa situación se ensancha la curva en su interior y el sobreancho queda en función del radio de la curva de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 6. Sobreancho de acuerdo al radio de giro

Radio de giro (m)	Sobreancho (cm)
24 a 32	25
16 a 24	50
8 a 16	75
0 a 8	100

Fuente: ITDP, 2011b; BiciRed, 2010; IDU, 1999



Peralte

El peralte es la sobreelevación que se le hace a la superficie de rodamiento en las curvas para evitar que el ciclista se salga de su ruta. Además, se utiliza para disminuir el radio de curvatura, el cuál disminuye cuando aumenta el peralte. Se recomienda no sobrepasar un peralte de 12 % porque puede ocasionar movimientos lentos por la sensación de inclinación (IDU, 1999). Usualmente el peralte se encuentra entre 2 % que es el mínimo necesario para un buen drenaje y 5 %, valores más altos que el 5 % provocan dificultad de manejo en velocidades bajas (DCP, 2011).

Radio de giro

El radio mínimo en una curva horizontal está en función de la velocidad de diseño, el peralte y la fricción entre la bicicleta y la superficie de rodamiento. El diseño de una ciclovía debe procurar que en los giros no se tenga que reducir la velocidad, lo cual afecta la sensación de comodidad y seguridad. La siguiente ecuación permite obtener el radio de curvatura.

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (2)$$

Donde:

R : Radio de curva (m)

V : Velocidad de diseño (km/h)

e : Peralte (%/100)

f : Coeficiente de fricción



Cuadro 7. Radios de giro

Velocidad (km/h)	Coficiente de fricción (f)	Radio de giro (m)
30	0,280	23,5
35	0,263	34,0
40	0,247	47,0
50	0,213	84,5
60	0,180	142,0

Usualmente, los ciclistas se desvían de sus trayectorias en las curvas. Para evitar esta situación se utiliza el peralte que va entre 2 % a 12 %, más allá de este valor se percibe incomodidad por la inclinación (ITDP, 2011b). Por su parte, el coeficiente de fricción depende de la velocidad, el tipo, condición y rugosidad de la superficie, tipo y condición de las llantas, y si la superficie está seca o mojada (IDU, 1999; MnDOT, 2007; NCDOT, 1994). Utilizar radios de giro mínimos provoca niveles de servicio pobres y algunos ciclistas pueden buscar caminos alternativos informales para evitar las curvas (Austroads, 2014).

Coeficiente de fricción

De acuerdo al IDU (1999) el coefieciente de fricción varía desde 0,30 a 24 km/h hasta 0,22 a 48 km/h para superficies pavimentadas, por lo que se tiene la siguiente ecuación para obtenerlo en función de la velocidad de diseño:

$$f = 0,38 - V/300 \tag{3}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño entre 24 km/h y 48 km/h

f: Coeficiente de fricción



Cuando las superficies tienen materiales sueltos se recomienda que se tome la mitad coeficiente de fricción para calcular el radio de giro (ITDP, 2011b; MnDOT, 2007; IDU, 1999; NCDOT, 1994)

Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad es un factor de seguridad fundamental a considerar en el diseño. Determina la distancia mínima con la que debe contar un ciclista para detenerse al ver un obstáculo en su camino, por lo cual también es llamada distancia de frenado. La distancia de frenado está en función del coeficiente de fricción, pendiente y la velocidad de diseño (IDU, 1999).

$$S = \frac{V^2}{255(G + f)} + 0,69V \quad (4)$$

Donde:

S: Distancia de frenado (m)

V: Velocidad de diseño (km/h)

G: Pendiente (%/100), (-) cuesta abajo y (+) cuesta arriba

f: Coeficiente de fricción

Cuadro 8. Distancias de frenado

Velocidad (km/h)	Coeficiente de fricción	Pendiente (%)	Distancia de frenado (m)
30	0,280	3	35,0
35	0,263	5	39,5
40	0,247	6	48,0
50	0,213	8	68,0
60	0,180	9	94,0



En conjunto con la distancia de visibilidad, el diseñador debe tomar en cuenta el despeje lateral en curvas horizontales. Su longitud en el interior de las curvas está en función del radio de curvatura y la pendiente. El despeje lateral se puede obtener usando la siguiente ecuación:

$$M=R \left[1 - \cos \left(28,65 * \frac{S}{R} \right) \right] \tag{5}$$

Donde:

M: Despeje lateral medido desde la línea de centro y la obstrucción visual (m)

R: Radio de la curvatura al centro del carril (m)

S: Distancia de frenado (m)

Cuadro 9. Despejes laterales

Distancia de frenado (m)	Radio de giro (m)	Despeje lateral (m)
35,0	23,5	6,3
39,5	34,0	5,6
48,0	47,0	6,0
68,0	84,5	6,8
94,0	142,0	7,7

Superficie de rodamiento

Respecto a superficie de caminos y pavimentación, los ciclistas tienen tres necesidades:

- Uniformidad de la superficie de rodado
- Resistencia de arrastre
- Drenaje

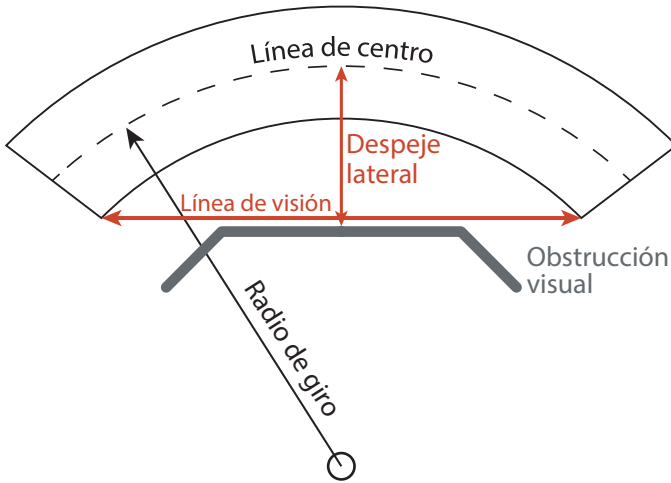
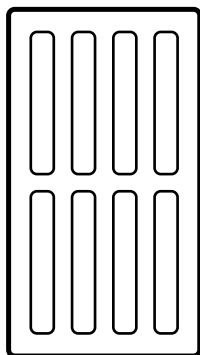


Ilustración del despeje lateral en las curvas de la ciclovía

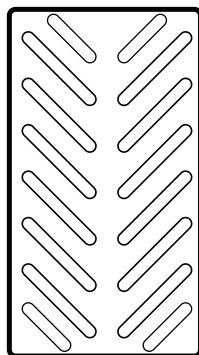
Nota: Elaboración propia a partir de IDU, 1999; ITDP, 2011; NJDOT, s.f.

La uniformidad determina las vibraciones verticales y horizontales que experimente el ciclista y afecta la comodidad de este. Además, determina la resistencia al circular y por lo tanto, el esfuerzo requerido para desplazarse sobre la superficie de ruedo. La resistencia del arrastre es determinada en su mayoría por la textura de la superficie, por lo tanto la textura además de ser importante en la comodidad y el grado de energía usado, determina la seguridad de los ciclistas al influir en la fricción entre la llanta de la bicicleta y la superficie de rodamiento.

Para el drenaje se debe procurar que no existan pozos, porque los ciclistas andan a la intemperie y es incómodo pasar sobre charcos, además es peligroso que al no poder observar la profundidad de los pozos o grietas al atravesarlos se puede perder la estabilidad de la bicicleta y provocar una colisión (CROW, 2011). No se debe utilizar rejillas con las aberturas paralelas a la dirección de los ciclistas porque pueden ocasionar un accidente muy grave al atorarse la llanta de la bicicleta en la rejilla, en su lugar las aberturas deben ir diagonales o perpendiculares a la dirección del ciclista (Minvu, 2015; National Transport Authority, 2011). La siguiente figura muestra la forma correcta e incorrecta de las aberturas de las rejillas.



Dirección
del ciclista



Dirección de las aberturas de la rejilla de drenaje para ciclovías

Nota: Elaboración propia a partir de Minvu, 2015

El tipo de pavimento utilizado en una vía afecta la comodidad y el atractivo del camino; y a la vez la velocidad de los vehículos (ITDP, 2011b; CROW, 2011). Por lo general, los diseñadores pueden escoger entre cuatro tipos de pavimentos donde se tiene que estudios demuestran que los ciclistas prefieren con el siguiente orden de preferencia: asfalto, concreto, adoquines y superficies blandas (CROW, 2011; ITDP, 2011b; IDU, 1999).

Debe de colocarse rejillas en las alcantarillas expuestas cerca de las facilidades para bicicletas; además, tienen que diseñarse adecuadamente para que no se conviertan en un peligro para los ciclistas.





Tipos de superficies para ciclovías

La imagen a la izquierda muestra en orden de preferencia de los ciclistas presenta los tipos de superficie:

- 1 - Asfalto
- 2 - Concreto
- 3 - Adoquines
- 4 - Superficies blandas



Intersecciones

Los tramos rectos sin interacciones son generalmente seguros, pero en las intersecciones el ciclista se sale de su zona de seguridad y se cruza con el flujo de vehículos automotores. Las intersecciones son el componente más crítico del diseño porque una de las condiciones de la ciclovía es brindar seguridad y es en las intersecciones donde se produce la mayor interacción con otros modos de transporte (Minvu, 2015). Una colisión entre un ciclista y un automóvil a alta velocidad puede dar como resultado lesiones graves o inclusive la muerte al usuario de la bicicleta. El calmar el tráfico cuando se encuentra cerca de intersecciones es parte del diseño y se logra utilizando elementos complementarios como reductores de velocidad, señalización, semáforos, entre otros. Además, dar prioridad a los ciclistas y evitar cruces complicados ayuda a su seguridad. Por las razones anteriores los manuales de diseño tienen un apartado sobre las intersecciones. El Manual de Vialidad Ciclo-Inclusiva de Chile (Minvu, 2015) brinda algunas recomendaciones para su diseño:

- El principal objetivo es la seguridad
- Se debe buscar que el cruce sea fluido
- La prioridad de paso de la ciclovía será la misma del eje que la contiene
- Tener en cuenta la pirámide de prioridad de transporte

La siguiente imagen presenta un ejemplo de nuestro país en donde no se aplican algunas de las recomendaciones anteriores, la ciclovía de Cartago en la intersección de la fotografía le da la prioridad a los vehículos que giran a pesar que la ciclovía está contenida en el eje de prioridad.

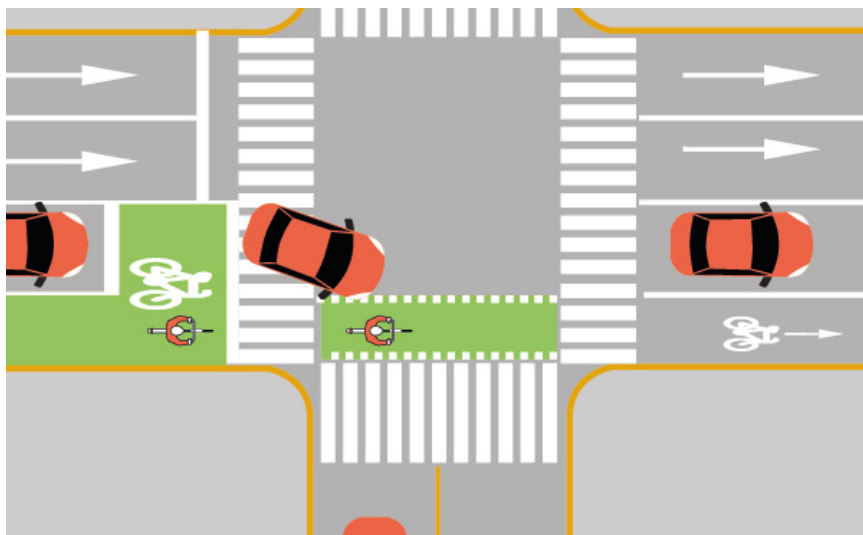


Irrespeto de la jerarquía del transporte, los ciclistas deberían tener la prioridad de paso porque la ciclovía está contenida en el eje de prioridad.

En el diseño de intersecciones deben contemplarse varias de las secciones mencionadas en este documento. Por ejemplo, las medidas de tráfico calmado, como elevar la intersección. Esto le brinda seguridad a los ciclistas y peatones para cruzar el camino porque los carros tienen que disminuir su velocidad. También la intersección debe estar acompañada de señales verticales y horizontales para alertar a los conductores de automotores la presencia de ciclistas y con más razón si la ciclovía es bidireccional. Otros elementos de seguridad vial son los bolardos, que evitan que los vehículos ingresen al carril de bicicletas.

Giro a la derecha y cruce en línea recta

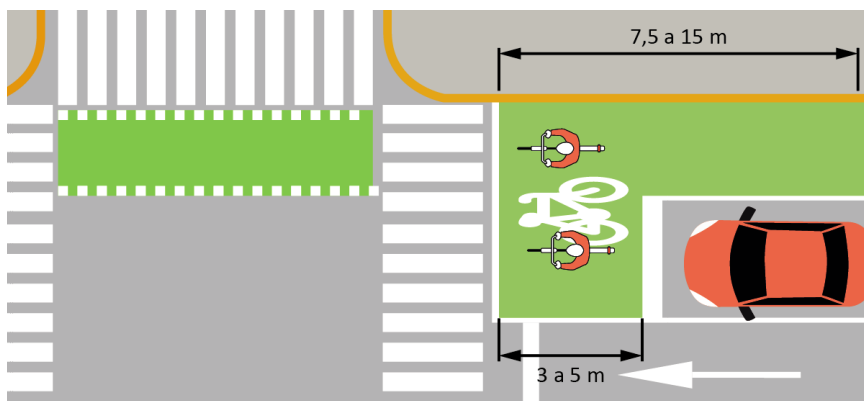
En las intersecciones se debe garantizar que el ciclista pueda cruzar o girar a la derecha sin que suceda un corte de circulación por los vehículos motorizados que giren a la derecha (ITDP, 2011b). Por lo tanto, se debe indicar la trayectoria de los ciclistas para evitar una colisión. La siguiente imagen muestra un diseño simple de intersección.



Diseño básico de una intersección para giro a la derecha y cruce en línea recta

Nota: Elaboración propia a partir de ITPD, 2011; NACTO, 2011; Minvu, 2015

La demarcación de color verde con una bicicleta que se observa en la siguiente imagen es una “caja verde” o “caja de bici”. Es un tipo de demarcación que actualmente no se utiliza en el país y no se especifica en el Manual de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2014). Es una área designada al frente del tráfico en una intersección que provee seguridad y visibilidad a los ciclistas durante la fase roja de un semáforo (NACTO, 2011), y permiten que los ciclistas salgan de primero cuando inicia la fase verde.



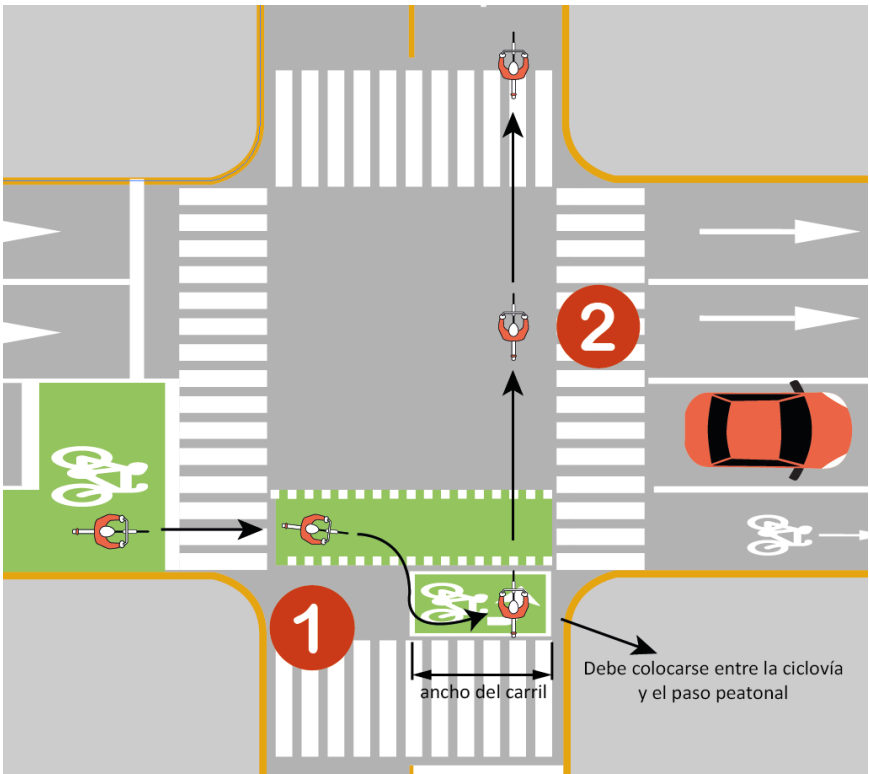
Diseño básico las caja de bici o cajas verdes

Nota: Elaboración propia a partir de NACTO, 2011



Giro a la izquierda

Otra maniobra en las intersecciones es cuando el ciclista ocupa girar a la izquierda. Una posible configuración para este caso, es realizar el giro en dos etapas. En la siguiente imagen se ilustran las etapas y el diseño de la intersección:



Diseño básico de una intersección para realizar la maniobra de giro a la izquierda en dos fases

Nota: Elaboración propia a partir de NACTO, 2011





Capítulo 6

Infraestructura complementaria

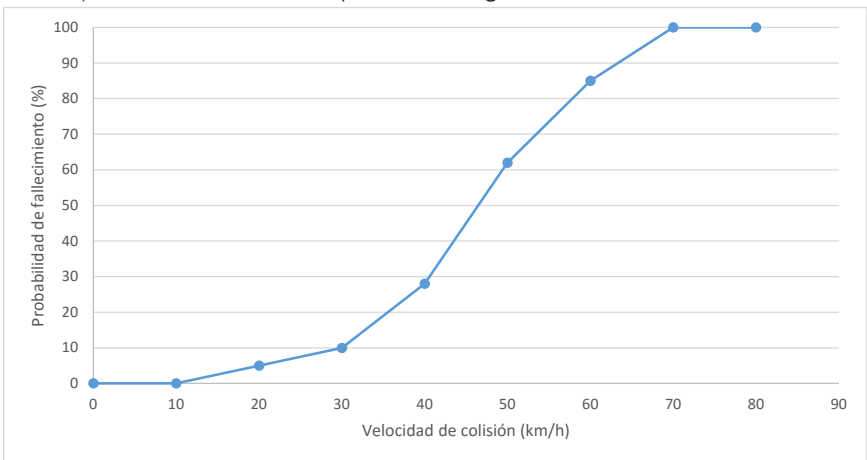




Medidas de tráfico calmado

La aplicación de medidas de tráfico calmado data desde 1960 en Europa y Estados Unidos como una serie de medidas aplicadas al flujo vehicular. “No existe una definición única de tráfico calmo, pero todas comparten que el objetivo es reducir la velocidad de los vehículos, mejorar la seguridad y mejorar la calidad de vida” (Fehr & Peers, s.f.).

El tráfico calmo puede y debe ser aplicado a lo largo de una ciclovía para mejorar las condiciones de las personas que se transportan en bicicleta, esto requiere cambio del alineamiento, cambiar rutas y disposición de las entidades reguladoras para hacer cumplir la ley. La importancia de calmar el tráfico se ilustra en el gráfico de abajo donde se puede observar las pocas posibilidades de sobrevivir a una colisión contra un vehículo a más de 60 km/h (OMS, 2004). A la fecha no existe un manual para Costa Rica de tráfico calmado ni tampoco la presente guía tiene como objetivo abarcar el tema, por lo que se aconseja revisar la lección 20 del documento “University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation” de la FHWA (2006) y el enlace <http://www.ite.org/traffic/tcdevices.asp> del Institute of Transportation Engineers.



Riesgo de fallecimiento de un ciclista o peatón en función de la velocidad de colisión de un vehículo

Nota: Elaboración propia a partir de de OMS, 2004; SIECA, 2014



Bolardos

Los bolardos son estructuras utilizadas en las intersecciones con la carretera para restringir el ingreso de vehículos motorizados no autorizados (BND, 1997) y sirven para alertar a los ciclistas que se aproximan a la intersección (Fehr & Peers, 2012), pueden ser fijos o abatibles para permitir la entrada de vehículos de emergencia y de mantenimiento (BND, 1997). Los bolardos también pueden ser utilizados para separar el carril de bicicletas del de vehículos automotores y en ciclovías bidirecciones para dividir el flujo de los ciclistas (Fehr & Peers, 2012). Los bolardos deben diseñarse para que sean altamente visibles para evitar los ciclistas colisionen con ellos. Si se utiliza un solo bolaro debe colocarse en el medio del carril y cuando se utilice más de uno, debe colocarse siempre uno en el medio y los otros en ambos lados a 1,5 metros del bolaro central (MnDOT, 2007).

Barras de confinamiento

Las barras de confinamiento son un dispositivo indispensable para la segregación de los ciclistas del flujo vehicular, impiden que los vehículos automotores invadan la ciclovía y a su vez deben de permitir una circulación amable con el ciclista evitando que su forma no pegue con los pedales. Además, se recomienda que sean discontinuos con separaciones de 1,5 m para que los ciclistas puedan salir de la ciclovía cuando lo requieran (ITDP 2011b). Las barras de confinamiento pueden ser de forma rectangular o trapezoidal y cuando se diseñan debe comprobar que su altura no provoque que hagan contacto con el pedal de las bicicletas.

Señalización y demarcación

La señalización y demarcación de la vía se deben implementar cuando se construye una ciclovía con el fin de aumentar la seguridad de los usuarios, se utilizan señales para los ciclistas y conductores de automotores que transitan en zonas cercanas o paralelas a la vía de bicicletas. “La utilización de señales tiene tres propósitos que son: regular el uso de bicicletas, dirigir a los usuarios a lo largo de las rutas establecidas y prevenir condiciones no esperadas” (SIECA, 2014). En Costa Rica en este tema rige el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA (2014) por lo que se le indica al lector de la presente guía consultarlo.



Demarcación utilizada en la ciclovía de Cartago para indicar sentido de circulación de las bicicletas.





Semáforos

La utilización de semáforos exclusivos de bicicletas no es usual en el país, pero de existir la necesidad se pueden instalar bajo los criterios de justificación utilizados para vehículos y cruces peatonales en zonas escolares (SIECA, 2014). El Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito de SIECA (2014) abarca este tema, por lo que no se desarrolla en esta guía, y el lector debe consultar la información de semáforos en dicho manual.

Si bien un semáforo peatonal puede cumplir la función de un semáforo para bicicletas se debe al menos demarcar el paso de bicicletas por separado del paso peatonal para no mezclar ambos flujos. En la ciclovías de Puntarenas y Cartago hay algunos semáforos peatonales y son utilizados por los ciclistas, como el ejemplo de la siguiente imagen de la ciclovía del Roble en Puntarenas.



La ausencia de semáforos para bicicletas es cubierta por semáforos peatonales.

Estacionamientos de bicicletas

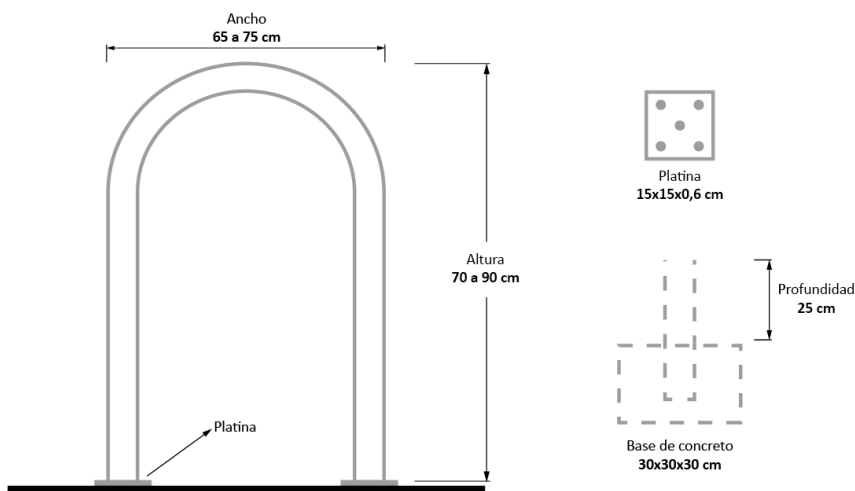
La presencia de estacionamientos para bicicletas es considerada uno de los mayores incentivos porque es probablemente el más influyente a favor en la toma de decisión de la realización del viaje (Minvu, 2014). Un estacionamiento proporciona a los usuarios una sensación de seguridad, al poder dejar su bicicleta asegurada evitando que sea robada, y comodidad al no tener que estar pendiente de donde deja su bicicleta porque en la mayoría de lugares el ingreso con ellas no es permitido.



Según el ITDP (2011b) debe ser obligación del estado proporcionar estacionamientos públicos en los recorridos de las ciclovías y también obligación de las empresas en las zonas de trabajo que tengan empleados que se transporten por este medio.

Existe un consenso en la necesidad que proveer parqueos para prevenir robos y proteger las bicicletas del clima, sin embargo no existen estudios del impacto del parqueo en los niveles de servicio por la razón de su clara importancia (Pucher, Dill, & Handy, 2009). Algunos estudios han demostrado impactos significativos en los niveles de ciclistas con la implementación de parqueos, como por ejemplo el realizado en la encuesta de viajes nacionales en Inglaterra (Pucher, Dill, & Handy, 2009).

Para consultar lineamientos para estacionamientos de bicicletas se hace referencia al Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito de SIECA (2014) que abarca dicha información. El manual de SIECA no incluye el diseño de estacionamientos de U invertida, el cual es el más recomendado en la literatura, por lo que a continuación se muestra su diseño.



Diseño de estacionamiento de bicicleta tipo U invertida

Nota: Elaboración propia a partir de de ITDP, 2011, Minvu, 2015; Transport for London, 2014



Estacionamiento para bicicletas tipo U invertida, ubicado en la entrada de la Oficina de Bienestar y Salud de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica.



Capítulo 7
**Evaluación
de ciclovías**





De acuerdo con el ITDP (2012) en su documento “Planes integrales de movilidad”, la evaluación de resultados es una etapa fundamental de toda implementación para solucionar una necesidad y consiste en al menos anualmente evaluar las medidas implementadas a través de indicadores previamente seleccionados. La evaluación se debe realizar con total transparencia y formalizándose en un documento accesible. Al evaluar una facilidad para los usuarios de la bicicleta, de descubrirse que su implementación no ha tenido los resultados esperados, se debe hacer una reevaluación de la manera en que se llevó a cabo.

Manuales como el “Bicycle Roads Safety Audit Guidelines and Prompt List” de la FHWA (2012) y “Cycle Path Inspections” del NPRA (2004) enfocan las evaluaciones en la seguridad vial del ciclista, quien es el principal objetivo de las ciclovías. Además, utilizan listas de chequeo como instrumento de evaluación, cuya intención es asistir al personal que realiza la evaluación identificando riesgos potenciales que afecten al ciclista (FHWA, 2012). No se le debe restar importancia a la evaluación de la seguridad de las ciclovías porque son tan importantes como las relacionadas a otros usuarios de las carreteras (Austroads, 2014).

La aplicación de evaluaciones tiene como principal objetivo encontrar defectos o deficiencias que formarán parte de una serie de medidas inmediatas con el fin de corregir los problemas que presenta la facilidad (NPRA, 2004); y debe de aplicarse en ciclovías existentes y próximas a construirse durante todas sus etapas de desarrollo (Austroads, 2014). Adicionalmente, buscan dar un mejor entendimiento a las entidades gubernamentales acerca de la seguridad de los ciclistas en el sistema de transporte (FHWA, 2012). Por ejemplo, el DDOT (Departamento Distrital de Transporte de Washington DC por sus siglas en inglés, District Department of Transportation) en su documento “Bicycle Facility Evaluation” (Kittlson & Associates, Inc., 2012), señala que al realizar una evaluación se trata de entender que tan bien funciona la infraestructura para los ciclistas. Por lo tanto se evalúan aspectos de



seguridad, nivel de servicio, comportamiento y actitud; definiendo dos objetivos:

- Identificar y recomendar modificaciones a las instalaciones construidas.
- Dar orientación para el diseño y operación de futuras facilidades para ciclistas.

Una metodología de evaluación debe comprender las siguientes áreas de acuerdo al DDOT de Washington, DC (Kittlson & Associates, Inc., 2012):

- Facilidad de uso para los ciclistas
- Operación eficiente relacionada al nivel de servicio
- Conveniencia en los tiempos de viaje
- Confort del usuario según su actitud
- Seguridad

Se debe también tomar en cuenta que la ciclovía cumpla los criterios de diseño geométrico mínimos establecidos en esta guía. El desarrollo de la evaluación se lleva a cabo por medio de observación del sitio, medición de la ciclovía, uso de datos históricos como accidentes, volúmenes vehiculares, conteos de ciclistas y obtención de datos por medio de encuestas para conocer la percepción del usuario hacia la facilidad. Como parte de la evaluación de la facilidades, se debe cuantificar qué tan bien se acomoda la red de carreteras a los ciclistas (FHWA, 2006). Lo anterior se logra utilizando niveles de servicio como el índice de compatibilidad para bicicletas (BCI por sus siglas en inglés, Bicycle Compatibility Index) para evaluar las condiciones existentes e identificar mejoras.



Índice de compatibilidad para bicicletas

El BCI desarrollado por la Administración federal de carreteras de los Estados Unidos (FHWA por sus siglas en inglés, Federal Highway Administration) es un método sencillo y rápido que se utiliza para evaluar la capacidad de las carreteras para alojar a los ciclistas y automóviles (FHWA, 2006; LTSA, 2004). En otras palabras, se puede definir como un modelo para cuantificar qué tan amigables son las carreteras con los ciclistas. Este modelo utiliza como variables significativas el ancho del espaldón o de la ciclovía, la presencia de parqueos y el tipo de uso de suelo de la zona (FHWA, 2006). El BCI se calcula con la siguiente ecuación:

$$BCI = 3,67 - 0,966 * BL - 0,410 * BLW - 0,498 * CLW + 0,002 * CLV + 0,0004 * OLV + 0,022 * SPD + 0,506 * PKG - 0,264 * AREA + AF$$

Donde:

BL: Presencia de carril de bicicleta o espaldón mayor a 0,9 m (Sí=1 No=0)

BLW: Ancho del carril de bicicleta o espaldón en metros

CLW: Ancho del carril vehicular adyacente en metros

CLV: Volumen vehicular del carril adyacente en la hora de estudio

OLV: Volumen vehicular del otro carril en la misma dirección

SPD: Velocidad de operación vehicular según el percentil 85

PKG: Parqueo adyacente a la ciclovía ocupado en más de 30 % (Sí=1 No=0)

AREA: Área residencial (Sí=1 No=0)

AF: Factores por camiones, parqueos, giros a la derecha, donde:

$$AF = f_t + f_p + f_{rt}$$

f_p : Factor por vehículos pesados por hora en el carril adyacente

f_e : Factor por tiempo límite de parqueo

f_{rt} : Factor por giros a la derecha por hora



Factores de ajuste

Cuadro 10. Factores de ajuste por volumen de pesados

Camiones por hora en el carril adyacente (Pph)	ft
≥ 120	0,5
60 a 119	0,4
30 a 59	0,3
20 a 29	0,2
10 a 19	0,1
< 10	0,0

Fuente: FHWA, 1998

Cuadro 11. Factores de ajuste por tiempo de parqueo

Tiempo límite de parqueo (min)	fp
≤ 15	0,6
16 a 30	0,5
31 a 60	0,4
61 a 120	0,3
121 a 240	0,2
241 a 480	0,1
> 480	0,0

Fuente: FHWA, 1998

Cuadro 12. Factores de ajuste por giros a la derecha

Giros a la derecha por hora (Vph)	frt
≥ 270	0,1
< 270	0,0

Fuente: FHWA, 1998

El BCI también puede ser utilizado en la planificación de una nueva ciclovía para comprobar qué tan compatibles son las calles por donde se planea hacer el trazo de la facilidad y cómo mejoran las condiciones para los ciclistas con la implementación.



Se recomienda consultar el manual de implementación del BCI de la FHWA (1998) para tener una mayor explicación de cada una de las variables de este modelo. Al calcular el BCI el resultado obtenido se clasifica de la siguiente manera:

Cuadro 13. Niveles de BCI

BCI	Rango	Nivel de compatibilidad
A	$\leq 1,5$	Extremadamente alta
B	1,51 – 2,30	Muy alta
C	2,31 – 3,40	Moderadamente alta
D	3,41 – 4,40	Moderadamente baja
E	4,41 – 5,30	Muy baja
F	$> 5,30$	Extremadamente baja

Fuente: FHWA, 1998

El nivel de compatibilidad obtenido dirá que tan amigable es la vía para los ciclistas y las mejoras que requiere para alcanzar una mejor calificación. Por ejemplo, disminuir la velocidad de los vehículos motorizados aplicando las medidas de tráfico calmado o aumentando el ancho del carril de bicicletas, generará índices mayores. La siguiente imagen contiene un mapa de los niveles de compatibilidad calculados para algunos tramos de la ciclovía de Cartago.





Evaluación de diseño geométrico

Para evaluar el diseño geométrico de una vía de bicicletas se dividen los tramos de la facilidad en función de la pendiente, porque la velocidad varía en función a ella y demás criterios dependen de la velocidad. El ancho del carril básico (sin tomar en cuenta sobreanchos) y la altura libre son independientes de la velocidad. El siguiente cuadro es el instrumento para verificar que se cumplan los requisitos de diseño geométrico y que se debe utilizar en conjunto a las fórmulas del Capítulo 5.

Cuadro 14. Tabla para evaluar el diseño geométrico

Descripción de la ubicación del tramo a evaluar						
Pendiente (%)	Velocidad de diseño (km/h)	Criterio	Guía	Zona	Cumple	
					Si	No
#	# (Cuadro 3)	Altura libre (cm)	250	#		
		Ancho bidireccional (cm)	240	#		
		Ancho unidireccional (cm)	150	#		
		Pendiente máxima permitida (%)	5			
		(Cuadro 4) ← Tramo con pendiente máxima (m)	#	#		
		(Cuadro 5) ← Sobreancho por pendiente (cm)	#	#		
		(Ecuación 2) ← Radios de giro (m)	#	#		
		Peralte (%)	2	#		
		(Cuadro 6) ← Sobreancho por curva (cm)	#	#		
		(Ecuación 4) ← Distancia de frenado (m)	#	#		
		(Ecuación 5) ← Despeje lateral (m)	#	#		

Instrucciones para el cuadro de verificación

La persona que realice la evaluación puede dividir la ciclovía en los tramos que se requiera, como consejo, los tramos se pueden dividir de acuerdo a:

- Cambios de pendiente, configuración o de ancho
- Presencia de una curvas
- Cambios de calles



Los valores con # deben ser obtenidos por el evaluador. En la columna **Zona**, los valores se obtienen con mediciones directas de la ciclovía. En *Altura libre* se anota el valor que no cumple en el tramo con la altura mínima establecida. Por ejemplo, si hay varias ramas bajas y la altura mínima libre es de 160 cm se anota ese valor. Para el *Ancho bidireccional* y *Ancho unidireccional* se anota el promedio de los anchos medidos cada 100 metros y si el tramo es menor a 500 metros entonces se debe obtener cinco anchos distribuidos uniformemente en el trayecto. Las entradas con # de la columna **Guía** se obtienen utilizando los cuadros y fórmulas que se encuentran en el Capítulo 5. Estos valores pueden variar de acuerdo a la pendiente, velocidad del tramo y radios de giro presentes.

Para la *Distancia de frenado* se debe corroborar en el campo la obtenida por la fórmula, verificando que en efecto los obstáculos son visibles a esa distancia. De serlo, en la columna *Zona* se indica que es mayor o simplemente se marca que si cumple. Cuando algún criterio no aplica, por ejemplo, que no hayan curvas en un tramo, se dejan en blanco los espacios. El Cuadro 15 es un ejemplo de la evaluación de un tramo de la ciclovía de la ciudad de Cartago.

Cuadro 15. Ejemplo de evaluación de diseño geométrico

Los Ángeles - calle 13 - De 5+188,3 a 5+290,7 y de 0+000,0 a 0+456,4						
Pendiente (%)	Velocidad de diseño (km/h)	Criterio	Guía	Zona	Cumple	
					Si	No
3	30	Altura libre (cm)	250	250	x	
		Ancho bidireccional (cm)	240	201		x
		Ancho unidireccional (cm)				
		Pendiente máxima permitida (%)	5		x	
		Tramo con pendiente máxima (m)				
		Sobreebanco por pendiente (cm)				
		Radios de giro (m)	23,5	24	x	
		Peralte (%)	2	2	x	
		Sobreebanco por curva (cm)	25	0		x
		Distancia de frenado (m)	34,8	>34,8	x	
		Despeje lateral (m)	6	55	x	



Seguridad vial

La evaluación de la seguridad de las ciclovías se basa en inspeccionar los siguientes elementos de la ciclovía que proporcionan seguridad a los ciclistas:

- Intersecciones
- Separador físico con flujo vehicular automotor de requerirse o lateral si existiera peligro de caída
- Bolardos
- Señalización y demarcación
- Semáforos

Se recomienda como mínimo utilizar la siguiente lista de chequeo para llevar el control que todos los elementos han sido revisados e incluidos en el informe de la evaluación:

Cuadro 16. Evaluación de seguridad: lista de chequeo

Aspecto	Sí	No	Observaciones
¿Las intersecciones estan demarcadas con el paso de los ciclistas?			
¿Los ciclistas tienen la prioridad de acuerdo al eje que contiene a la ciclovía?			
¿Existen medidas para reducir la velocidad de los automotores en las intersecciones?			
¿Hay señales que informen el paso de constante de ciclistas?			
¿Existen bolardos antes y despues de las intersecciones?			
¿Hay bolardos parcialmente dañados o destruidos totalmente?			
¿Los bolardos son distinguibles facilmente por los ciclistas?			
Si la vía para bicicletas es segregada, ¿existe un separador físico entre vehículos motorizados y los ciclistas?			
¿La separación física se convierte en un obtáculo para los ciclistas?			
¿Hay elementos de la separación física parcialmente dañados o destruidos totalmente?			
Si la vía para bicicletas es delimitada, ¿existe una separación demarcada entre vehículos motorizados y los ciclistas?			



¿Existe demarcación indicado el sentido de circulación de los ciclistas en ciclovías bidireccionales?			
¿Las señales de Alto de la vía de bicicletas se diferencian a los de la carretera?			
¿Las señales verticales son visibles?			
¿A lo largo de la ciclovía existen señales verticales indicando la prohibición de parqueo?			
¿A lo largo de la ciclovía existen señales verticales indicando la existencia de una vía para bicicletas?			
¿Hay semáforos para ciclistas o peatonales a lo largo de la ciclovía?			
De existir semáforos, ¿están demarcados los pasos de peatones y ciclistas por separado?			

Percepción de los usuarios

Para finalizar la evaluación, la opinión de los ciclistas es un punto de vista que no se debe dejar por fuera ni restarle importancia en una evaluación. Al final de todo son ellos los usuarios de la infraestructura para bicicletas. Por lo tanto, es importante realizar encuestas que contengan preguntas que abarquen los siguientes temas:

- Motivación de usar la bicicleta por la ciclovía
- Percepción del estado físico de la estructura
- Descripción de la experiencia al viajar en la ciclovía
- Percepción de seguridad al transitar por la ciclovía
- Razones por las que el usuario puede no sentirse seguro en la ciclovía
- Calificación de que tanto le molesta ciertos aspectos de la ciclovía (intersecciones, bolardos, curvas, ancho, pendientes, presencia de peatones, entre otros)

Con la opinión de los usuarios se pueden detectar problemas que otras evaluaciones no identifican. Además se pueden comparar los resultados con la opinión del usuario, por ejemplo, la ciclovía puede no cumplir con el ancho mínimo pero tal vez a los ciclistas no les incomode.





Referencias bibliográficas





- AASHTO. (1999). Guide for the development of bicycle facilities. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. Obtenido de <http://nacto.org/wp-content/uploads/2011/03/AASHTO-Guide-for-the-Development-of-Bicycle-Facilities-1999.pdf>
- Arancibia, D. (2013). Cyclists, bike lanes and on-street parking: economic impacts. Toronto: Toronto Cycling Think & Do Tank. Obtenido de http://www.torontocycling.org/uploads/1/3/1/3/13138411/daniel_arancibia_ce_report_bike_lanes_december_10.pdf
- Austroroads. (2014). Cycling Aspects of Austroroads Guides 2da Edición. Sydney: Austroroads. Obtenido de <https://www.onlinepublications.austroroads.com.au/items/AP-G88-14>
- BiciRed. (2010). Manual de diseño para infraestructura de ciclovías. Instituto Natura.
- BID. (2015). Ciclo-inclusión en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de <https://publications.iadb.org/handle/11319/6808?locale-attribute=es>
- Brenes, E. (2014). El espacio peatonal y las ciclovías son necesarias para la vida urbana. *Ambientico*(240-241), 25-30. Obtenido de <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/240.pdf>
- Brenes, O. (23 de Octubre de 2015). Nueva ciclovía El Roble - Barranca. (R. Acuña, Entrevistador)
- CONASET. (2010). Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado. Santiago: Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito. Obtenido de http://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2013/12/guia_medidas_trafico_calmando2010.pdf
- CROW. (2011). Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas. Magda: Lake Sagaris. Obtenido de [http://www.ciclovida.ufpr.br/wp-content/uploads/2011/07/bpp_pdf/Manual%20Dise%C3%B1o%20Tr%C3%A1fico%20Bicicletas%20\[CROW\].pdf](http://www.ciclovida.ufpr.br/wp-content/uploads/2011/07/bpp_pdf/Manual%20Dise%C3%B1o%20Tr%C3%A1fico%20Bicicletas%20[CROW].pdf)
- DCP. (2011). 2010 Bicycle Plan: Technical Design Handbook. Los Angeles: Department of City Planning. Obtenido de http://clkrep.lacity.org/online/docs/2010/10-2385-S2_MISC_07-11-11.pdf
- DGT. (2011). La movilidad segura de los colectivos más vulnerables. España: Dirección General de Tráfico. Obtenido de <http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/centro-de-documentacion/publicaciones/2011/doc/la-movilidad-segura-de-los-colectivos-mas-vulnerables.pdf>
- Eco-Counter. (s.f.). Eco-Counter. Recuperado el 20 de mayo de 2015, de <http://www.eco-compteur.com/es>
- Espinoza, J. L. (2015). Estudio de movilidad ciclista en los distritos del cantón de Puntarenas de con mayor cantidad de ciclistas involucrados en colisiones (Informe de Trabajo Final de Graduación). San Pedro: Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.



- Ewing, R. (1999). *Traffic Calming: State of the Practice*. Washington, DC: ITE. Obtenido de <http://www.ite.org/traffic/tcstate.asp>
- Fehr & Peers. (2012). *Bicycle Facilities Design Manual: Guidelines for the City of Redmond*. Redmond: Fehr & Peers.
- Fehr & Peers. (s.f.). *Traffic Calming Definition*. Recuperado el 11 de octubre de 2015, de <http://trafficcalming.org/>
- FHWA. (1998). *The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept, Implementation Manual*. Washington, DC.: Federal Highway Administration. Obtenido de <http://safety.fhwa.dot.gov/tools/docs/bci.pdf>
- FHWA. (2006). *University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation*. McLean: Federal Highway Administration. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/05085/>
- FHWA. (2012). *Bicycle Roads Safety Audit Guidelines and Prompt List*. Washington, DC.: Federal Highway Administration. Obtenido de http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/tools_solve/fhwasa12018/
- FHWA. (2015). *Separated Bike Lane: Planning and Design Guide*. Chapel Hill: University of North Carolina. Obtenido de https://www.fhwa.dot.gov/environment/bicycle_pedestrian/publications/separated_bikelane_pdg/page00.cfm
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2005). *Ingeniería de tránsito y carreteras*. México D.F.: Thomson.
- Gómez Barrantes, N., & Castro Delgado, F. (2011). *Distribución espacial de accidentes de tránsito en el cantón de Alajuela, en los años 2008 - 2009*. San José: Consejo de Seguridad Vial. Obtenido de <https://www.csv.go.cr/documents/10179/10835/Distribucion%C3%B3n+espacial+de+accidentes+de+tr%C3%A1nsito.pdf/ec27b117-93d7-44fe-ab7f-cac88f07eb6c>
- IDU. (1999). *Manual de diseño de ciclorutas*. Bogotá: Alcandía Mayor de Santa Fe de Bogotá D.C. Obtenido de <https://movilidadurbana.files.wordpress.com/2007/10/manual-de-diseno-de-ciclorutas.pdf>
- ITDP. (2011a). *Ciclociudades Tomo 1. La movilidad en bicicleta como política pública*. Ciudad de México: Grupo Fogra. Obtenido de <http://ciclociudades.mx/manual-ciclociudades/>
- ITDP. (2011b). *Ciclociudades Tomo 4. Infraestructura*. Ciudad de México: Grupo Fogra. Obtenido de <http://ciclociudades.mx/manual-ciclociudades/>
- ITDP. (2012). *Planes Integrales de Movilidad: Lineamientos para una movilidad urbana sustentable*. Ciudad de México: Institute for Transportation and Development Policy. Obtenido de <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Planes-integrales-de-movilidad-lineamientos.pdf>



- ITE. (s.f.). Traffic Calming Measures. (I. o. Engineers, Editor) Recuperado el 14 de octubre de 2015, de <http://www.ite.org/traffic/tcdevices.asp>
- Kittlson & Associates, Inc. (2012). Bicycle Facility Evaluation. Washington, DC: Toole.
- López, O. (27 de Octubre de 2015). Detalles técnicos de la ciclovía de Cartago. (R. Acuña, Entrevistador)
- LTSA. (2004). Cycle Network and Route Planning Guide. Nueva Zelanda: Land Transport Safety Authority. Obtenido de <https://www.nzta.govt.nz/resources/cycle-network-and-route-planning/>
- Machado, R. (2010). Modelización de la demanda potencial de viajes en bicicleta en la Gran Área Metropolitana (Trabajo Final de Graduación). San Pedro: Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Minvu. (2014). 190 Kilómetros de Ciclovías: Estándares y criterios para el diseño. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Minvu. (2015). Vialidad Ciclo-Inclusiva. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Obtenido de http://www.minvu.cl/opensite_20150512124450.aspx
- MnDOT. (2007). Bikeway Facility Design Manual. Minnesota: Minnesota Department of Transportation. Obtenido de <http://www.dot.state.mn.us/bike/pdfs/manual/manual.pdf>
- Mullins, B. (2015). Uso de la ciclovía en el periodo: diciembre 2014 a febrero 2015. Cartago: Unidad de deporte y recreación. Obtenido de <http://www.muni-carta.go.cr/images/estudio%20utilizacin%20ciclovía%202015.pdf>
- NACTO. (2011). Urban Bikeway Desing Guide. New York: National Association of City Transportation Officials.
- National Transport Authority. (2011). National Cycle Manual. Dublin: National Transport Authority. Obtenido de https://www.nationaltransport.ie/downloads/national_cycle_manual_110728.pdf
- NCDOT. (1994). Bicycle Facility Planning and Design Guidelines. Carolina del Norte: North Carolina Department of Transportation. Obtenido de <https://connect.ncdot.gov/projects/bikeped/documents/bicycle%20projects%20planning%20and%20design%20guidelines%20-%20full%20version.pdf>
- NCHRP. (2014). Recommended bicycle lane widths for various roadway characteristics. Washington D. C.: Transportation Research Board. Obtenido de http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_766.pdf
- NJDOT. (s.f.). Bicycle Compatible Roadways and Bikeways: Planning and Design Guidelines. New Jersey: New Jersey Department of Transportation. Obtenido de <http://www.nj.gov/transportation/publicat/pdf/BikeComp/introtofac.pdf>



- NPRA. (2004). Cycle Path Inspections: Road safety - Accessibility - Experience of travel. Oslo: Norwegian Public Roads Administration. Obtenido de <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/196125/1/HB-249E-2004.pdf>
- OMS. (2004). Informe mundial sobre la prevención de los traumatismos causados por el tránsito. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Obtenido de http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_es.pdf
- Pendones, R. (2014). Movilidad ágil, plural e inteligente contra la tiranía de los carros. *Ambientico*(240-241), 11-16. Obtenido de <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/240.pdf>
- Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2009). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine Journal*, 50(1), 106 - 125. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743509004344>
- SIECA. (2001). Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Ciudad de Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- SIECA. (2014). Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Ciudad de Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- Solis, A. G. (2013). Carbono Neutralidad: Avances y Desafíos de cara al año 2021. San José: Estado de la nación. Obtenido de http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/granados_2013.pdf
- Transport for London. (2014). London Cycling Design Standards. Londres: Transport for London. Obtenido de <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/cycling>
- Urban Systems. (s.f.). Pedestrian and Bicycle: Facility Design Guidance. Peel Region: Region of Peel. Obtenido de <https://www.peelregion.ca/pw/construction/pdf/pedestrian-bicycle-facility-design-guidance.pdf>
- Wen, L. M. (2008). Inverse associations between cycling to work, public transport, and overweight and obesity: findings from a population based study in Australia. *Preventive medicine*, 46(1), 29-32. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091743507003714>
- Willumsen, L. G. (2008). Modelos de transporte . Santander: Universidad de Cantabria.
- WisDOT. (2004). Bikeway Facility Design Manual. Wisconsin: Wisconsin Department of Transportation. Obtenido de <http://wisconsindot.gov/Documents/projects/multimodal/bike/facility.pdf>

