



Estudio y evaluación del diseño de ciclovías en Santiago y comparación con estándares y normativas internacionales

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
Ismael Delorenzo¹, Titulado
Guillermo Thenoux¹, Profesor Titular
¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El uso de la bicicleta como medio de transporte en Chile es una costumbre que durante los últimos años ha mostrado un alza considerable. Mediciones de flujo realizadas el año 2012 [1] concluyeron que el número de usuarios de las principales ciclorrutas de Santiago ha crecido sostenidamente a una tasa superior al 20% anual desde el año 2005.

Mientras tanto, el crecimiento del parque vehicular en Santiago ha motivado al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones a lanzar un Plan Maestro de Transportes al año 2025. Dentro del marco de este plan, se ha presentado una proyección de 800 kilómetros de ciclovías en Santiago, donde Vitacura aparece como una de las comunas con menor consideración, siendo esta además una comuna muy pobre en infraestructura para el transporte en bicicleta. Lo anterior podría explicar el hecho de que Vitacura sea la comuna con menor porcentaje de viajes realizados en bicicleta dentro de Santiago con un 2,4% [2], siendo el promedio en la capital un 3% [3].

La experiencia nacional en diseño y construcción de ciclovías ha demostrado la incapacidad de éstas de satisfacer los requisitos para realizar viajes directos, seguros y cómodos en bicicleta. Esto se debe a que el diseño de ciclorrutas no ha sido integrado dentro de la planificación del desarrollo urbano, si no que ha sido agregado a secciones ya construidas, lo que muchas veces resulta en vías con restricciones que afectan a quienes las utilizan como medio para transportarse hacia el lugar de trabajo o para la recreación.

A partir de esta investigación, se propone una serie de recomendaciones para el diseño de ciclovías en áreas urbanas, además de un método para la planificación del trazado de una red de ciclovías, tomando como ejemplo la comuna de Vitacura. Lo anterior se ha llevado a cabo sobre la base de los aspectos positivos y negativos de la experiencia nacional y en manuales extranjeros asociados a este tema, considerando el plan maestro de urbanización correspondiente.

METODOLOGÍA

La investigación ha consistido en el desarrollo de cuatro tareas:

1. Estudio de la normativa chilena en lo que respecta al diseño de ciclovías.
2. Evaluación en terreno de las ciclovías construidas en Chile.
3. Estudio de manuales y normativas extranjeras asociadas al diseño de ciclovías.
4. Revisión del contexto urbano de la comuna de Vitacura y adecuación de las recomendaciones revisadas, con el objetivo de proponer una red optimizada de ciclovías.

La evaluación en terreno ha incluido las siguientes actividades:

- Circular por distintos tipos de ciclovías, intersecciones y otras secciones viales.
- Observar el comportamiento de los usuarios, peatones y automovilistas.
- Observar el efecto de las condiciones complementarias del diseño geométrico (estacionamientos, paraderos, accesos, centros comerciales, colegios, hospitales, entre otros).
- Observar el comportamiento en la ciclovía en relación con la capacidad que entrega la vía (dimensiones, ciclos de semáforos, número de intersecciones sin preferencia para ciclistas, entre otros).

En cuanto al estudio del estado de arte urbano de Vitacura, éste ha contemplado las siguientes tareas:

- Transitar por los distintos tipos de vías e intersecciones de la comuna.
- Observar el volumen y la velocidad del flujo motorizado.
- Reconocer el uso de suelo y el equipamiento asociado a las vías estudiadas.
- Estudiar las restricciones que ofrecen las distintas vías e intersecciones para el tránsito adecuado de ciclistas.
- Calcular variables como el factor de desvío (FD) y la cantidad de intersecciones sin preferencia para ciclistas por kilómetro de las vías recorridas (I) (ver ecuaciones 1 y 2 en “Principio científico”).
- Estudiar el plan maestro de urbanización y uso de espacios públicos de la comuna.

Así, basado en las recomendaciones de regiones extranjeras con experiencia en diseño de infraestructura vial para el uso de la bicicleta, se ha estudiado la optimización de una red de ciclovías para Vitacura que se adecúe a las diversas necesidades de los usuarios de este medio de transporte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la bibliografía chilena que norma los estándares de diseño de las facilidades para ciclistas en la ciudad, se pudieron extraer algunas definiciones, pese a que no siempre coinciden entre los distintos manuales, y una breve alusión a algunas especificaciones del diseño geométrico de ciclovías, tales como ancho de pista (Tabla 1), radio de curvatura y peralte requeridos.

Tabla 1. Ancho de pista para ciclistas (metros). (4)
(M. Rec: Mínimo recomendable / M. Abs: Mínimo absoluto).

CICLOPISTAS		CICLOBANDAS	
M. Rec	M. Abs	M. Rec	M. Abs
2	1,75	1,75	1,5

Respecto del estudio en terreno de las ciclovías construidas en Santiago y otras regiones del país, se observaron algunos buenos ejemplos, como tramos e intersecciones bien demarcadas y de dimensiones aptas para el tránsito seguro y cómodo (Figura 1).



(a) Isabel La Católica (b) Las Perdices
Figura 1. Diseño de ciclovías en Santiago: aspectos positivos.

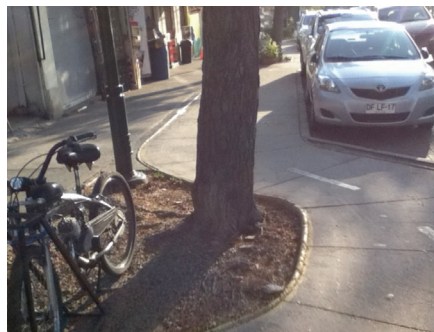
Sin embargo, en la mayoría de las rutas revisadas se identificaron problemas de diseño, siendo los más frecuentes el ancho de pista y radio de curvatura insuficiente, la falta de continuidad en los tramos, el déficit de conectividad en la red y la escasez de cruces demarcados, señalizados y segregados del tránsito peatonal. Puede apreciarse que estos problemas, graficados en la Figura 2, derivan de los siguientes factores:

1. El trazado de ciclovías es mayormente por la acera y no por la calzada, lo que da espacio a interferencias con los peatones y situaciones riesgosas en intersecciones, donde los conductores de vehículos motorizados no esperan la aparición de ciclistas.
2. La presencia de elementos urbanos (árboles, postes de luz, bancas, entre otros) que actúan como obstáculos y restringen las condiciones del diseño geométrico de la vía.
3. Las intersecciones son puntos conflictivos donde no se han resuelto los distintos movimientos posibles a realizar por los ciclistas.

Del estudio de manuales extranjeros se reconocen como los principales tipos de ciclovías adaptables al contexto urbano las ciclocalles, ciclobandas y ciclopistas (ver “Glosario”), siendo las ciclobandas la solución preferida para áreas urbanas mediana y altamente concurridas.



(a) Dublé Almeida



(b) Simón Bolívar



(c) Antonio Varas



(d) Sánchez Fontecilla

Figura 2. Diseño de ciclovías en Santiago: aspectos negativos.

En cuanto a la definición de una red, se propone que las secciones e intersecciones de ésta sean ante todo coherentes, es decir, que cuenten con un trazado fácilmente comprensible y simple de seguir. Además, éstas deben ser directas, seguras, cómodas y atractivas [6].

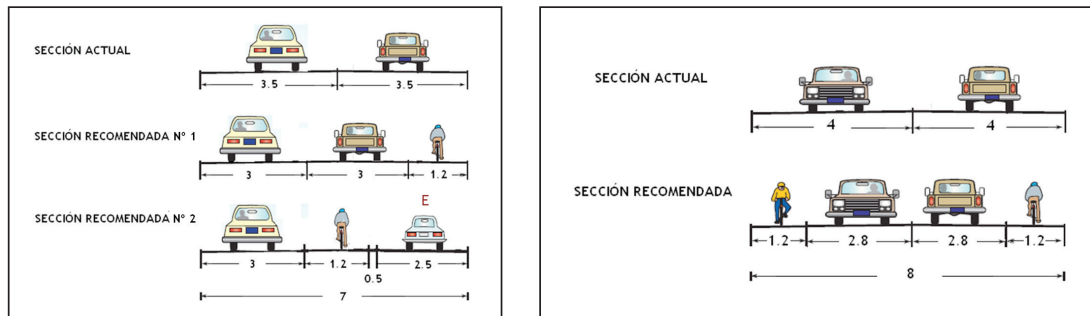
Se propone como la solución óptima al problema de la inclusión de la bicicleta en el contexto vial, la implementación de una pista unidireccional para su tránsito exclusivo sobre la calzada, situada preferentemente a un extremo de ésta y con un ancho mínimo recomendable de 1,2 metros. Esto debe lograrse a partir de la modificación en la distribución, cantidad y/o dimensiones de las pistas de circulación, situación que dependerá de las características de la sección original. Para vías locales, colectoras y troncales, cuyas características principales y de decisión se resumen en la Tabla 2, las recomendaciones son las graficadas en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente.

Tabla 2. Tipos de vías y características [5].

	LOCALES	COLECTORAS	TRONCALES
Velocidad máxima permitida (km/h)	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Ancho mínimo de la calzada (m)	7 - 8	14	14 - 21
Número mínimo de pistas (un)	2	4	4 - 6

Vías locales

En este caso, se distinguen dos situaciones posibles. Primero, para vías unidireccionales, se propone la disminución del ancho de las pistas a 3 metros, dejando un ancho libre de 1,2 metros para el tránsito de bicicletas (Figura 3a). Mientras tanto, en vías bidireccionales, donde el ancho de pista es mayor que en el caso anterior, es posible incluir tránsito de bicicletas en ambos sentidos (Figura 3b).



(a) Vías locales unidireccionales.

(b) Vías locales bidireccionales.

Figura 3. Recomendaciones para vías locales (dimensiones en metros). (E: Banda de estacionamiento).

Vías colectoras

En este tipo de vías, donde el número de pistas puede llegar hasta 4, la solución es análoga a la presentada en la Figura 3b, donde si además se considera el remplazo de dos pistas de circulación por una banda de estacionamiento, el ancho de pista para bicicletas puede llegar al óptimo recomendado a partir de la experiencia internacional.

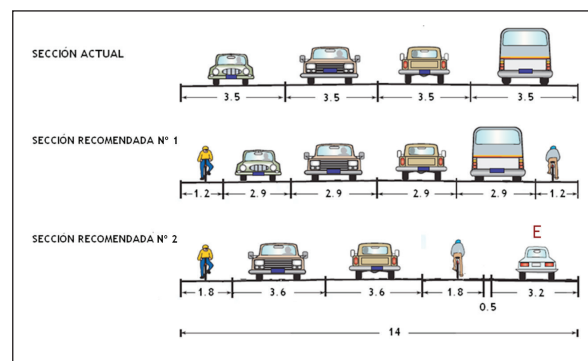


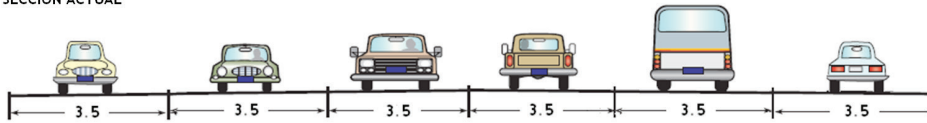
Figura 4. Recomendaciones para vías locales (dimensiones en metros). (E: Banda de estacionamiento).

Vías troncales

Como se esquematiza en la Figura 5, la integración de la bicicleta al flujo vehicular sobre la calzada de vías troncales es alcanzable de manera poco invasiva, permitiendo anchos de pista cómodos y seguros para el tránsito de automóviles y bicicletas.

Finalmente, para vías donde la velocidad del tráfico motorizado supera los 60 km/h, no es recomendable permitir que bicicletas y automóviles compartan el tránsito por la calzada.

SECCIÓN ACTUAL



SECCIÓN RECOMENDADA

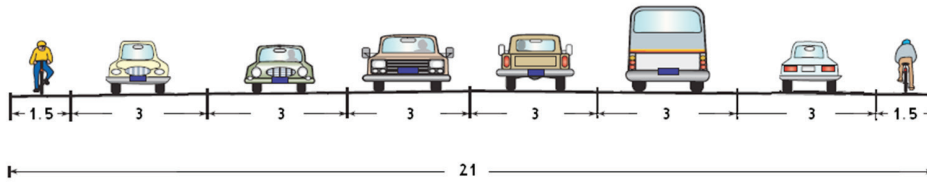


Figura 5. Recomendación para vías troncales (dimensiones en metros).

Respecto de las distintas situaciones que enfrentan los ciclistas a través de intersecciones y secciones viales, se proponen los siguientes diseños para cada caso.

Caso 1: Viraje a la derecha

Problema: Automovilistas no distinguen a los ciclistas a su derecha al momento de virar.

Solución: Lo óptimo es implementar una pista de viraje exclusivo para automóviles, posterior a una zona demarcada con línea punteada, a través de la cual éstos pueden pasar por sobre la ciclobanda. De este modo, los ciclistas que atraviesan el cruce no corren peligro de ser interferidos por vehículos motorizados y pueden maniobrar libre y directamente (Figura 6).

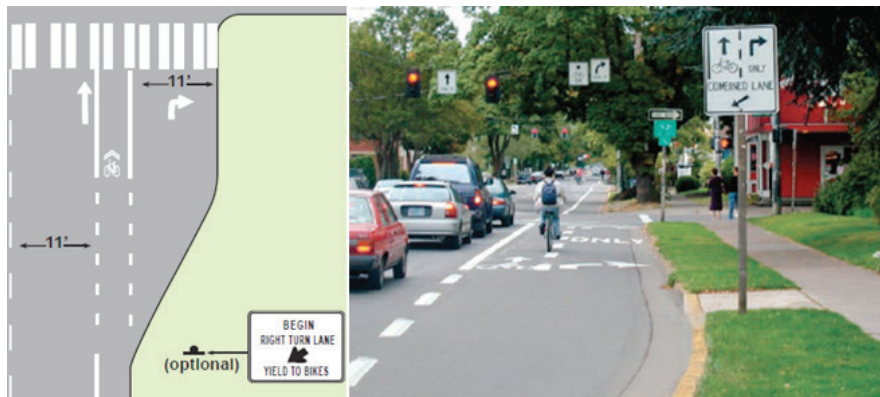
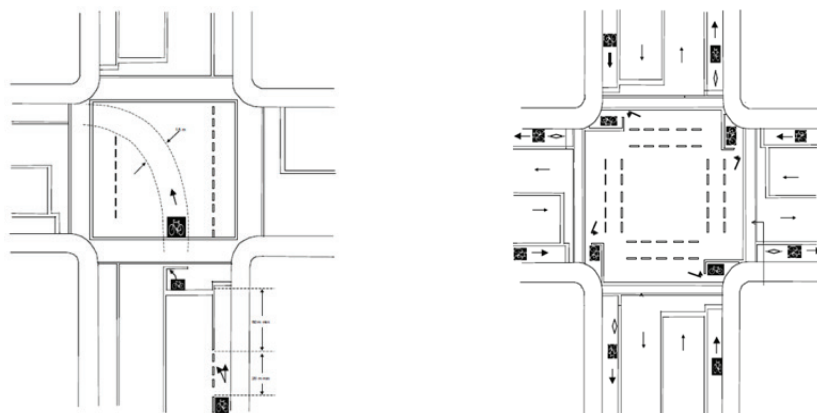


Figura 6. Recomendación para pistas de viraje a la derecha [6].

Caso 2: Viraje a la izquierda

Problema: Los ciclistas deben cruzar las pistas para automóviles que viajan en distintas direcciones.

Solución: La experiencia internacional en diseño de ciclorrutas recomienda combinar una línea adelantada de detención para los ciclistas, con una pista demarcada para su viraje a través de la intersección, dando a éstos la prioridad en los movimientos respecto de los automovilistas. Sin embargo, al contexto vial y cultural en Santiago en cuanto a diseño de ciclovías se adecúa mejor la solución presentada en la Figura 7b, en donde los ciclistas deben atravesar las calles de forma paralela a los peatones, pero por pistas exclusivas y a través de islas de refugio en cada esquina.



(a) Viraje canalizado a través de la intersección.

(b) Viraje a través de islas de refugio.

Figura 7. Recomendación para virajes a la izquierda [7].

Caso 3: Ciclobandas y bandas de estacionamiento

Problema: La apertura de puertas representa un riesgo para los ciclistas que circulan por su costado.

Solución: Agregar una sección de seguridad de al menos 50 centímetros entre la banda de estacionamiento y la ciclobanda, suficiente para albergar el espacio utilizado por una puerta abierta, dado el vaivén propio del pedaleo de los ciclistas.



Figura 8. Recomendación para ciclobandas y bandas de estacionamiento [8].

Ahora, y en cuanto al método propuesto para la definición de una red de ciclovías para Vitacura, han de considerarse el plan maestro de urbanización, el equipamiento y la red de transporte público de la comuna.

El plan maestro de urbanización de la comuna corresponde a la definición de su uso de suelo y de las distintas categorías viales existentes y proyectadas sobre la misma. Así, se han considerado en este estudio principalmente aquellas rutas que operan como vías locales y colectoras, tomando en cuenta además el equipamiento comunal. Los puntos de confluencia considerados han sido colegios, centros comerciales y hospitales. Por último, y a partir de la red de transporte público de la comuna, se han distinguido aquellas vías que cuentan con tránsito de buses, situación donde la inclusión de ciclobandas sobre la calzada se hace indeseable.

Finalmente, se ha estudiado el caso de vías con restricciones importantes, como Escrivá de Balaguer, Vitacura, Manquehue Norte y Padre Hurtado, realizándose un análisis comparativo entre éstas y otras vías alternativas, a modo de ejemplo de un método de optimización para una red de ciclovías en áreas urbanas.

Tabla 2. Análisis de factor de desvío y número de intersecciones sin preferencia por kilómetro para vías alternativas.

	Eje Nueva Costanera - Escrivá de Balaguer	Francisco de Aguirre
Distancia (km)	2,7	1,9
FD	1,18	1,05
I	1,61	1,05

	Av. Vitacura	Las Hualtatas
Distancia (km)	4,3	5,6
FD	1,02	1
I	2,56	1,61

	Manquehue Norte	Luis Carrera
Distancia (km)	2,4	2,2
FD	1,1	1,04
I	2,28	2,08

	Padre Hurtado	Las Tranqueras
Distancia (km)	1,8	1,7
FD	1,06	1,06
I	3,89	1,76

Un último aspecto revisado antes de definir preliminarmente el trazado de una red de ciclovías en Vitacura, es la distribución de estacionamientos para bicicleta en la comuna, representado en la Figura 9.

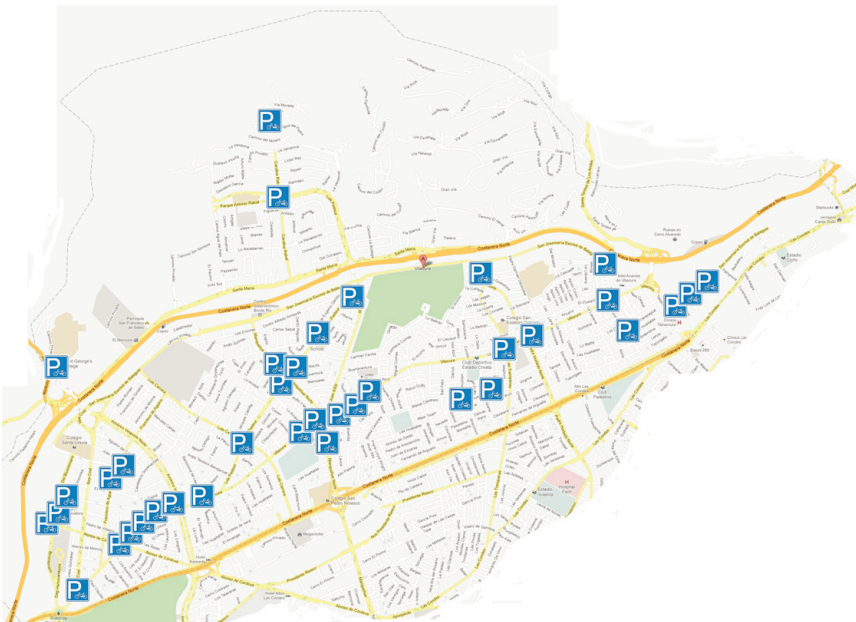


Figura 9. Localización de estacionamientos de bicicleta en Vitacura.

Así, la malla propuesta a partir de las restricciones estudiadas corresponde a la esquematizada en la Figura 10, donde las vías demarcadas se complementan con una red básica de cicocalles, es decir, vías residenciales con velocidades de tráfico motorizado de hasta 30 km/h. Además, y con la excepción de aquellas vías cuyo sentido de circulación se ha definido con una flecha roja, la red consiste en un conjunto de tramos bidireccionales. Finalmente, se ha considerado la conectividad de los trazados de ciclovía propuestos con los ciclopaseos existentes y representados en la Figura 10.

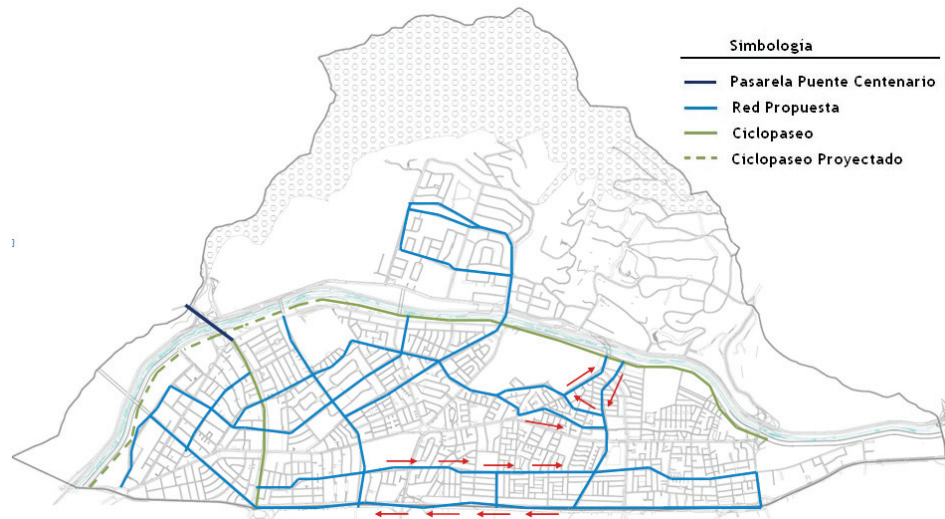


Figura 10. Red propuesta para la comuna de Vitacura.

CONCLUSIONES

Como primera conclusión, se puede mencionar que a partir de las observaciones en terreno es claro que la implementación de ciclovías por la acera conlleva a una serie de problemas de diseño, la mayoría de los cuales podrían evitarse con sólo planear la ciclovía por la calzada, permitiendo a la bicicleta actuar como un vehículo más de la ciudad. Los factores asociados al trazado de ciclovías por la acera que producen dichos problemas son principalmente los elementos urbanos en ella, que al estar en el lugar desde antes que se ideara la construcción de la ciclofacilidad, actúan como obstáculos que restringen las especificaciones del diseño geométrico de la vía.

De los tres diseños de ciclovías que más se adaptan a las condiciones viales de Vitacura (y el resto de las comunas de Santiago), el más adecuado para áreas urbanas altamente transitadas y con velocidades menores a los 50 km/h es la ciclobanda. Así, y para implementar este tipo de ciclofacilidad sobre una calzada previamente construida, debe considerarse una de estas opciones:

1. Modificación del ancho de pista para vehículos motorizados.
2. Modificación, desplazamiento o eliminación de bandas de estacionamiento.

Mientras, en vías donde actualmente la velocidad máxima del flujo motorizado es mayor a 50 km/h, como el caso de avenida Josemaría Escrivá de Balaguer, se recomienda considerar medidas de calmado de tráfico para hacer factible la inclusión de ciclobandas en la sección.

Finalmente, se requiere realizar una optimización de las potenciales rutas para ciclovías a partir del estudio de sus restricciones geométricas. Una forma de realizar dicho análisis es considerar valores como el factor de desvío de la ruta, o la cantidad de intersecciones sin preferencia para ciclistas por kilómetro que hay en ella, ambos valores que están directamente asociados a la capacidad que entrega la vía [9].

Teniendo en cuenta dichas consideraciones y las recomendaciones presentadas en el apartado anterior, es posible lograr los estándares de diseño que cumplen los requisitos de toda ciclofacilidad: ser coherente, directa, segura, cómoda y atractiva.

Realizar una planificación adecuada previa al trazado de ciclovías no sólo beneficia a los usuarios de la bicicleta como medio de transporte, sino también al resto de los usuarios de medios de transporte motorizados o no motorizados, además de disminuir los costos sociales en el tiempo.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

El diseño óptimo de ciclovías para áreas urbanas mediana y altamente transitadas con velocidad de flujo motorizado igual o menor a los 50 km/h es la ciclobanda, la cual debe tener un ancho mínimo absoluto de 1,2 metros por sentido de circulación, siendo 1,8 metros el ancho óptimo de la misma.

Las formas de integrar ciclobandas sobre calzadas previamente construidas son:

- a) Disminuir el ancho de las pistas para vehículos motorizados.
- b) Modificar las bandas de estacionamiento.

A partir de la implementación de ciclobandas por la calzada, se eliminan la mayoría de los conflictos que resultan de los diseños por la acera.

Para definir las vías adecuadas para trazado de la red principal de ciclovías, debe estudiarse el volumen y la velocidad del flujo motorizado, el uso del espacio público, el equipamiento de la zona y la integración con la red de transporte público de la región.

Finalmente, y para optimizar la red de ciclovías principal propuesta, se analiza cuál de las alternativas es más directa, a partir del cálculo de los siguientes factores.

$$(1) \text{ Factor de desvío} = \frac{\text{Distancia de la ruta}}{\text{Distancia en línea recta desde el origen al destino}}$$

$$(2) I = N^{\circ} \text{ de intersecciones donde no se tiene preferencia por km.}$$

GLOSARIO

Ciclobanda: Franja de la calzada segregada visualmente del tránsito vehicular y destinada al tránsito de bicicletas. Se recomienda en áreas urbanas mediana y altamente transitadas donde la velocidad del flujo motorizado no supere los 50 km/h.

Ciclocalle: Calles locales de bajo volumen y velocidad del flujo vehicular, donde el tránsito es compartido por vehículos motorizados y no motorizados.

Ciclofacilidad: Todo tipo de infraestructura que satisfaga alguna necesidad asociada al uso de la bicicleta como medio de transporte.

Ciclopista: Ciclobanda segregada físicamente del tránsito vehicular. Se recomienda en vías de alta concurrencia donde la velocidad del flujo motorizado supera los 50 km/h.

Ciclorruta: Todo tipo de ruta apta para el transporte en bicicleta.

Ciclovía: Todo tipo de ciclorruta segregada tanto del tránsito peatonal, en áreas urbanas o rurales, como del tránsito vehicular, visual o físicamente, a excepción del caso de vías de bajo volumen y velocidad del tránsito motorizado, en el cual las pistas son compartidas por vehículos y bicicletas. Se dividen en ciclocalles, ciclobandas y ciclopistas.

Factor de desvío: Cuociente entre la distancia recorrida a través de una vía y la distancia en línea recta desde el punto de origen al de destino.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

SECTRA: Secretaría de Planificación de Transporte.

TRB: Transportation Research Board.

UyT: Urbanismo y Territorio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece particularmente por su contribución a Pamela Ortiz Baratta, asesora urbanista de la Municipalidad de Vitacura, quien orientó parte importante de esta investigación a partir de la recomendación de distintos documentos respectivos a la Ordenanza del Plan Regulador Comunal. Estos lineamientos permitieron adecuar las recomendaciones extraídas de este trabajo al plan de urbanización de la comuna.

REFERENCIAS

1. Gwasda, Peter. Empfehlungen für radverkehrsanlagen. FGSV Verlag, Köln, 2011.
2. MINVU. Manual de vialidad urbana. Recomendaciones para el diseño de infraestructura vial urbana. Tabla 5.02.202 (4) B.2009.
3. MINVU. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Resumen de modificaciones y rectificaciones. 2012.
4. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Plan maestro de transporte 2025. Santiago. 2013.
5. Oregon Department of Transportation. Bicycle & pedestrian design guide. 6-2. 2011.
6. Oregon Department of Transportation. Bicycle & Pedestrian Design Guide. I-1. 2011.
7. SECTRA. Proyecto calidad del aire y transporte sustentable para la ciudad de Santiago. 2013.
8. The City of Los Angeles. Technical design handbook. 2010.
9. TRB. Highway capacity manual. 2010.
10. UYT S.A. – Tecnología Sustentable. Conteos de flujo de bicicletas. 2012.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Ismael Delorenzo
- 2 Profesor Guillermo Thenoux



1



2