



Universidad
de O'Higgins

Escuela de Ingeniería
Ingeniería Civil Industrial

Modelo prescriptivo para la calidad de servicio en la movilidad peatonal

Fernanda Pacheco Avilés
Profesor(a) guía: Víctor Bucarey López
Profesor(a) co-guía: Fernando Feres

Memoria para optar al título y/o grado de Ingeniera Civil Industrial

Rancagua, Chile
Marzo 2024

Dedicatoria

“A mi familia, por su amor y apoyo incondicional”

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que hicieron posible la realización de esta memoria.

Agradezco especialmente a mi profesor guía Víctor y mi profesor co-guía Fernando quienes hicieron posible la correcta realización de este trabajo de investigación.

Agradezco también a mi jefe de carrera Job, el cual ha sido un apoyo durante todo mi trayecto universitario.

Agradezco a mis padres, quienes con su apoyo y su paciencia infinita han impulsado este logro académico.

En general, a todos/as quienes formaron parte de mi proceso universitario.

Índice

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
HIPÓTESIS.....	9
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA	12
MARCO METODOLÓGICO	16
RESULTADOS	26
CONCLUSIÓN.....	36
REFERENCIAS	38
ANEXOS	41

Resumen

Las condiciones que proporciona un entorno urbano resultan relevantes en el desplazamiento del peatón, puesto que dependiendo de las características que este posea, se puede potenciar o disuadir el desplazamiento a pie. (Talavera & Valenzuela, 2015)

Las ciudades ofrecen un servicio a su comunidad que está relacionado a su infraestructura. Por ello, es importante abordar la calidad que entrega este servicio y de que manera se puede mejorar, proporcionando un entorno adecuado al peatón.

Esta memoria propone un modelo prescriptivo para la calidad del servicio de la infraestructura pública peatonal, con el fin de crear un sistema de apoyo a la decisión y hacer del entorno peatonal un lugar más amigable. Para esto, se elige y adapta una metodología con el fin de medir la calidad. Luego, se desarrolla un método de optimización que la maximice y se aplica el caso de estudio a la zona céntrica de Rancagua.

En primera instancia se adaptó una herramienta de medición, que está basada en el modelo de caracterización peatonal de entornos de movilidad (Talavera & Valenzuela, 2012). Se consideró amplitud de acera, inclusividad, calidad de acera, velocidad de tránsito, densidad de arbolado, obstáculos y atractivos. Para cuantificar y estandarizar las mediciones, se definen y se agrupan en 4 niveles según determinadas características que deben cumplir. Mientras que en la segunda se creó un grafo de la zona de estudio, se determinaron las intervenciones a realizar en cada una de las aceras y finalmente, se creó el modelo de optimización lineal entera, el que es implementado en Python y resuelto utilizando el software Gurobi.

Como resultado se detectaron múltiples intervenciones que pueden realizarse, lo que trae consigo un aumento en la calidad de la infraestructura peatonal pública. Además, se detectó que al aumentar el presupuesto con el que se cuenta, también lo hace la calidad del servicio (QoS).

En conclusión, hay muchas cosas que se pueden hacer para mejorar la calidad del servicio, pues en la actualidad, el centro de Rancagua no es muy amigable para el peatón.

Palabras clave: Calidad de servicio, entorno peatonal, herramienta prescriptiva, optimización.

Introducción

Las ciudades y su infraestructura ofrecen un servicio a la comunidad, por lo que hablar sobre su calidad es relevante. La mejora del servicio de la infraestructura pública con respecto a la movilidad peatonal es importante en diversos ámbitos, tales como sociales, ambientales y económicos. Es por esto por lo que, al proporcionar un adecuado diseño del entorno urbano, es posible mejorar la calidad de vida del peatón y fomentar la actividad física, lo que trae consigo una reducción en la utilización de vehículos motorizados, contribuyendo con la disminución de gases efecto invernadero. Además, al garantizar el fácil tránsito permite avanzar en la inclusividad.

Según (Talavera & Valenzuela, 2015) el entorno urbano juega un rol importante en el desplazamiento del peatón, pues las características y los elementos físicos que se presentan en las calles por donde ellos transitan pueden potenciar su desplazamiento o disuadirlos completamente. Además, el poder medir la calidad del entorno urbano implica tomar decisiones respecto a las medidas que se pueden implementar para la mejora de éste.

Un aspecto relevante a considerar es que, si bien hay literatura reciente sobre cómo medir la calidad de servicio de la infraestructura vial, hay poco en modelos que optimicen la mejora de esta vialidad, y casi nada que integre a ambos.

En esta memoria se propone un modelo prescriptivo para la calidad del servicio entregado por a la infraestructura pública peatonal, con el fin de crear un sistema de apoyo a la decisión y hacer del entorno peatonal un lugar más amigable para el usuario. Además, a través de esto es posible gestionar de mejor manera el presupuesto destinado a estas intervenciones. Para ello, se adapta una herramienta de medición de calidad de infraestructura peatonal y se propone un modelo de optimización que maximiza la calidad del servicio entregada.

Este trabajo investigativo se llevará a cabo en Rancagua, específicamente en la zona céntrica, puesto que es un punto neurálgico de encuentro de personas las que viven distribuidas por toda la ciudad, puesto que allí es posible encontrar variedades de locales comerciales, bancos, servicios de prestación médicas y actividades culturales. Actualmente, es posible encontrar diversas deficiencias en cuanto a infraestructura asociados a la movilidad peatonal,

como por ejemplo aceras en mal estado, postes de luz dificultando el tránsito de las personas, incitándolas a circular por las calles, entre otras cosas. Para ejemplificar de mejor manera lo que se menciona anteriormente, se proporcionan las siguientes imágenes:



Imagen 1. Paseo Estado



Imagen 2. Poste de luz obstaculizando tránsito peatonal en calle Mujica



Imagen 3. Grifo de agua obstaculizando tránsito peatonal en calle Bueras

Es por ello que, se vuelve relevante desarrollar o adaptar metodologías y herramientas que sean capaces de medir y entregar resultados sobre la calidad de servicio que ofrece la infraestructura del centro de la ciudad. Esto con el fin de determinar y estandarizar el impacto que tienen sobre el peatón, y con los cuales se puedan tomar mejores decisiones regidas bajo sus restricciones presupuestarias.

Finalmente, para este caso aplicado de estudio, el perímetro de la zona en la cual se realizarán las mediciones se encuentra delimitado por calles principales del centro de la ciudad,

es decir Av Libertador Bdo. O'higgins, Av. Millán, San Martín y Av. Ramón Freire. Para comprender de mejor manera lo expuesto anteriormente, se presenta un mapa del sector escogido para el desarrollo de esta investigación.

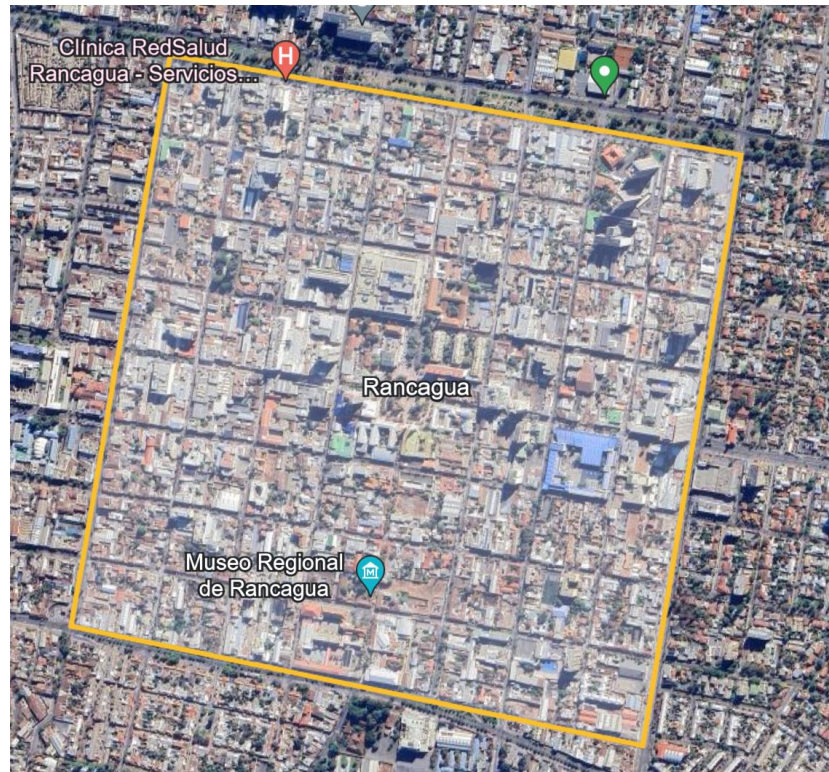


Figura 1. Mapa centro de Rancagua. Fuente: Google Earth.

Hipótesis

En base al planteamiento del problema expuesto anteriormente, la hipótesis que se plantea es que el desarrollo de una herramienta prescriptiva para la mejora de la calidad del servicio otorgado por la infraestructura pública peatonal permite entender y priorizar decisiones de inversión sobre ésta.

Preguntas de investigación

En esta memoria se responderán las siguientes interrogantes:

- ¿Qué herramienta es más adecuada para medir calidad de servicio para movilidad pública?
- ¿Es posible desarrollar una herramienta prescriptiva que ayude a priorizar la inversión en espacios públicos, con respecto a infraestructura peatonal?
- ¿Cuál es la calidad de servicio peatonal con que cuenta Rancagua centro actualmente, y que decisiones se pueden priorizar?

Objetivo general

El objetivo general de esta memoria es desarrollar una herramienta prescriptiva para mejorar la calidad de servicio de la infraestructura pública de movilidad peatonal.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo de título son:

- Elegir y adaptar metodología para medir la calidad de servicio
- Desarrollar método de optimización que maximice la calidad de servicio de la movilidad peatonal sujeto a restricciones presupuestarias.
- Aplicar esta metodología de medición y optimización en Rancagua centro (realización de caso de estudio).
 - Mediciones en terreno.
 - Modelo de optimización.
 - Visualización de resultados.

Marco teórico y revisión de literatura

I. Revisión conceptual.

La primera definición que se presenta para lograr la comprensión de esta memoria es la de peatón, quien es transita por la vía pública a pie. Además, se consideran peatón a las personas con movilidad reducidas, las cuales circulan en sillas de ruedas con motor o sin él. (Ministerio del Interior, 2014, p.7)

Según indica el decreto 3 de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, una vereda corresponde a un espacio de pavimento continuo que se encuentra en la acera, el cual debe estar libre de obstáculos y, además, es de uso exclusivo para el tránsito peatonal. Mientras que la acera es el espacio comprendido entre la solera (borde de la calzada) y la línea de edificación. Se caracteriza por ser lugar de emplazamiento de variados tipos de implementos urbanos, tales como postes, árboles, jardineras, vallas, barreras, grifos, casetas telefónicas, paraderos de locomoción colectiva, refugios para guardias de seguridad, puestos de venta, etc. (Minvu, 2016)

Por otro lado, un grafo está definido como “una estructura de datos no lineal, la cual se puede usar para modelar diversas aplicaciones”. (Barrero et al., 2010, p.1). Al referirse a un grafo Gen términos matemáticos, éste consta de un conjunto de nodos (N) y uno de aristas (A), en donde cada uno de ellos une un nodo con otro.

Tal como lo explica (Barrero et al., 2010, p.1) $G = (N, A)$ y los arcos que unen a los vértices son representados por un par de elementos (i, j) , siendo cada elemento un nodo perteneciente a esta unión.

Finalmente, según Ramos et al., (2016) los problemas de optimización se componen generalmente de tres ingredientes. El primero es la función objetivo, que corresponde a la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se requiere maximizar o minimizar, como por ejemplo minimizar costos operacionales. En cuanto al segundo, “esta corresponde a las variables que representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo” (Ramos et al., 2010, p.6). Por último, el tercer componente son las restricciones, las cuales “representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer” (Ramos et al., 2010, p.6).

II. Revisión de literatura.

El peatón ocupa un lugar destacado en la movilidad urbana, tanto por representar el modo de transporte más básico y que alimenta al resto de modos de transporte, como por mantener una relación intensa y directa con las actividades urbanas, conformando los denominados entornos de movilidad peatonal. Es por ello que, según (Talavera & Valenzuela, 2015) para mejorar la calidad de la infraestructura peatonal resulta fundamental profundizar sobre los factores que están relacionados con los entornos en donde el peatón se desplaza, y mediante esto volver más accesibles los espacios públicos.

“Las interrelaciones existentes entre la estructura urbana y el patrón de viaje no solo son complejas, sino que cuentan con una gran cantidad de dimensiones e interacciones posibles” (Talavera & Valenzuela, 2012, p. 164), es por ello que, referirse a calidad en los entornos de movilidad peatonal, considerando la mayor cantidad de factores existentes es relevante.

En base a lo mencionado anteriormente, este trabajo de investigación busca desarrollar una herramienta que entregue una guía para mejorar la calidad del servicio de la infraestructura pública ofrecida a los peatones, para lo cual se cuenta con tres etapas principales. La primera es la creación o adaptación de una herramienta de medición con el fin de otorgar puntaje a las diferentes características de la infraestructura que se observan al caminar. La segunda etapa corresponde a desarrollar un modelo de optimización que mejore la calidad de servicio entregada y finalmente, la tercera etapa es la visualización de los resultados obtenidos.

Según indica Ujjwal y Bandyopashyaya (2022) tanto las características del flujo del tráfico de peatones y automóviles, los elementos físicos del entorno construido como la percepción del entorno peatonal por parte del usuario son parte de un amplio abanico de factores que influyen en el nivel de servicio peatonal (PLOS, por sus siglas en inglés).

Mediante la Ley 21.088 de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, la cual modifica la Ley del Tránsito vigente con el fin de incorporar nuevas disposiciones en aspectos de convivencia de los distintos medios de transporte, es posible entender los diferentes actores asociados al tránsito en la vía pública y determinadas normas que se deben seguir para tener una

buena convivencia. Es importante ya que regula el uso de bicicletas y ciclovías, evitando conflictos y posibles accidentes con los vehículos motorizados. (MTT, 2018)

En relación al método utilizado para la medición de calidad de servicio entregada por la infraestructura peatonal pública. Ésta se basa en el método de caracterización peatonal de entornos de movilidad (CPEM), en donde se emplea una herramienta útil para evaluar los cuatro factores que esta metodología propone: accesibilidad, seguridad, confort y atracción, todos ellos desde el punto de vista de calidad peatonal. (Talavera & Valenzuela, 2012). Sin embargo, cabe mencionar que los aspectos considerados en cada categoría y los parámetros utilizados son adaptaciones realizadas para obtener un mejor entendimiento de la situación actual de la zona en donde se desarrolla esta memoria.

Por otra parte, es importante mencionar que el comercio minorista es una categoría que se visualiza frecuentemente en la literatura investigativa como aquel destino más común para el desplazamiento a pie (Cerin et al., 2007, como se citó en WalkScore, 201, p.6), por lo que realizar esta investigación y aplicar un caso de estudio a la zona céntrica de una ciudad es relevante.

En la literatura asociada a la calidad del servicio otorgada al peatón (Larranaga, Arellana, Rizzi, Strambi, y Cybis, 2019) utilizan una metodología que consiste en elegir la mejor y la peor (B/W) característica presentada, es decir, aquella que al transeúnte le parece más atractiva o menos, la que fue aplicada a diferentes barrios de la ciudad de Porto Alegre, Brasil. Su finalidad es estudiar la asimetría del lugar, obtener la importancia de las barreras del entorno que obstaculizan la transitabilidad a pie y finalmente, encontrar soluciones para las barreras identificadas y cuantificar su impacto. Para esto, se les otorgan pesos a las características evaluadas. Los parámetros seleccionados para realizar las mediciones están basados en seguridad y protección y también en convivencia y atractivo. Los dos primeros hacen alusión tanto a la cantidad de delincuencia percibida por el peatón como a los posibles accidentes que puedan sufrir en la vía pública. Mientras que los dos últimos se refieren a las características de comodidad y atractivo.

Según (Asadi-Shekari, Moeinaddini, y Shah, 2013), son escasos los investigadores que realizan estudios respecto a usuarios vulnerables y no motorizados, como peatones y ciclistas.

Por ello, plantean medir el nivel de servicio ofrecido tanto para las bicicletas (BLOS) como para los peatones (PLOS), con el que se utiliza la regresión, simulación y el sistema de puntos. Para lograrlo se determinan dos enfoques de evaluación, el primero consiste en un modelo basado en la capacidad. Este mide la velocidad, el flujo, el volumen y la densidad tanto de peatones como de vehículos. Mientras que el segundo es un modelo que está basado en las características de las carreteras, cuyos parámetros de medida son seguridad (riesgo de accidentes y delincuencia), atractivos y comodidad.

Marco metodológico

Para el correcto desarrollo de este trabajo investigativo, la metodología se divide en tres etapas, la primera corresponde al desarrollo de una herramienta que permita medir la calidad del servicio peatonal. Ésta se basa en el modelo de caracterización peatonal de entornos de movilidad (CPEM), desarrollada en el trabajo de investigación denominado “La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana” (Talavera & Valenzuela, 2012). Posteriormente, en la segunda etapa se realiza el modelo de optimización que maximizará la calidad del servicio otorgada por la infraestructura, el cual estará sujeto a restricciones presupuestarias. Finalmente, en la etapa tres se presenta como se visualizarán los resultados obtenidos.

I. Etapa de medición.

Los parámetros que se abordan para la evaluación de la calidad del servicio entregada por su infraestructura corresponden a accesibilidad, seguridad, comodidad y atractivos. Por lo que el desarrollo de este estudio propone la creación de una herramienta, con la cual se puedan estandarizar los resultados, y que abarque los mismos conceptos, ya que éstos pertenecen a características del entorno no sólo son aplicables al caso de estudio sino que también a cualquier otra localidad. Cabe mencionar que estos parámetros también son aplicables a peatones con movilidad reducida, puesto que miden características que les afectan a la hora de circular por la vía pública. Además, a través de los resultados obtenidos se busca mejorar la calidad del servicio, identificando zonas de oportunidad de mejora y otorgando recursos para la toma de decisiones, que vayan en directo beneficio a la comunidad.

Con respecto a la herramienta de medida que se llevará a cabo, se definen los aspectos que serán considerados para realizar esta medición, y que abarca cada uno de ellos.

Por lo tanto, los parámetros a considerar se describen a continuación:

Accesibilidad: Este aspecto corresponde a una característica netamente estructural del segmento que se está midiendo, puesto que hace referencia a transitabilidad peatonal percibida, es decir, cuán accesible le parece al peatón circular por esa vía. Tomando en consideración el ancho de la acera y la existencia de vados reducidos para otorgar inclusividad. (Talavera &

Valenzuela, 2012) “Dicho de otra forma: una acera menor de dos metros de ancho puede originar que los encuentros entre peatones se den con dificultad” (Prinz, 1986; Sanz, 2008, como se citó en Talavera & Valenzuela, 2012)

Seguridad: En este aspecto se evalúa que tan seguro le resulta al peatón circular por la acera, es decir, se toma en cuenta la probabilidad de tener un accidente al momento de circular por ese tramo. Para lo cual es importante detectar la calidad del pavimento, contemplando desniveles y roturas, ya que si ésta se encuentra en mal estado, puede provocar que el peatón se desplace por la calle, aumentando el riesgo de accidentes. Además, se considera la velocidad de tránsito de los vehículos en circulación, puesto que mantener un límite contribuye en la disminución la cantidad de atropellos, además, a mayor velocidad y mayor número de carriles, más elevadas serán la fricción existente y la percepción de inseguridad que posea el peatón respecto a estas zonas (Ladis et al., 2001).

Comodidad: Se considera la facilidad de circulación, es decir, la comodidad que le brinda el segmento analizado al peatón al transitar, para ello, se consideran objetos que contribuyen entregando comodidad, tales como árboles, pues estos proporcionan sombra. También, se evalúan objetos que obstaculicen el tránsito: postes de luz, semáforos y grifos de agua, los cuales afectan la fluidez de la movilidad, tanto para la persona que se desplaza a pie como para las personas en sillas de ruedas.

Atractivos: Para evaluar qué tan atractivos le resulta al peatón circular por cierto segmento, es importante tener en cuenta la posibilidad de interacción que el peatón tiene con el entorno. Para esto, se tienen en consideración la presencia de locales comerciales, ya sean de comida o venta de diferentes productos (ropa, zapatos, artículos de hogar, etc), los servicios de prestación médica que se encuentran, tales como laboratorios, clínicas dentales, farmacias y centros médicos. Asimismo, se consideran los servicios bancarios, ya sean sucursales o cajeros automáticos.

Con la creación de esta métrica se busca obtener una tupla que contenga la evaluación de cada parámetro considerado para esta evaluación; asimismo, es importante mencionar que, por

cada segmento se tendrán dos resultados, perteneciente a la vereda Norte y la vereda Sur o a la vereda Poniente y Oriente, según corresponda.

Existen muchas características físicas y elementos presentes en la infraestructura de la vía pública que se pueden considerar para la realización de este trabajo, sin embargo, es pertinente determinar aquellas que resultan más relevantes para realizar la medición en el centro de Rancagua, dejando fuera del caso aplicado las cuales pueden generar un tipo de conflicto al categorizarlas. Por lo que, las características que serán consideradas para la evaluación de los diferentes parámetros contemplados son las siguientes:

- Accesibilidad: Este parámetro se divide en dos aspectos fundamentales:
 - Amplitud acera: En este punto se mide el ancho que posee la acera.
 - Inclusividad: En este punto se contabiliza la existencia de vados rebajados sin obstáculos, para personas con movilidad reducida en ambos extremos de la acera.
- Seguridad: Este parámetro se divide en dos aspectos:
 - Calidad acera: En este punto se contabilizan la cantidad de desniveles en la vereda y la cantidad de pavimentos rotos.
 - Velocidad de tránsito: En este punto se considera la “velocidad máxima permitida en la vía y el número de carriles de transporte motorizado”. (Landis et al., 2001)
- Comodidad: Este parámetro se divide en dos aspectos:
 - Objetos que contribuyen: Este punto se mide mediante la densidad del arbolado, es decir, cuantificando el número de árboles en el segmento determinado de medición.
 - Objetos que obstaculizan: En este punto se cuantifican la cantidad de postes de luz, semáforos y grifos de agua que se encuentren posicionados sobre la vereda o en las bajadas de personas con movilidad reducida.
- Atractivos: En este parámetro se consideran elementos con los que el peatón puede interactuar:
 - Locales comerciales: locales de comida, de ropa, de artículos de hogar, peluquerías, librerías, etc.

- Servicios de prestación médica: clínicas dentales, centros médicos, laboratorios, farmacias, clínicas estéticas, etc.
- Servicios bancarios: Sucursales de bancos, cajeros automáticos y cajas vecinas.

Es importante mencionar que, no es del todo correcto comparar atractivos de gran tamaño, como por ejemplo un mall, con uno más pequeño, tal como una boutique, pues depende de la percepción del usuario a cuál de ellos le otorga mayor atractivo. Es por esto que una alternativa es asignarle un peso diferente a cada tipo de atractivo o también, dejar como parámetro tomador de decisiones la calidad de los atractivos. Sin embargo, para efectos prácticos de este trabajo de investigación, se considera que todos los tipos de atractivos poseen el mismo valor frente al usuario.

Mientras que, aquellas que no serán consideradas son:

Elementos de fierro y hormigón posicionados en la acera y utilizados para impedir que un vehículo atropelle a un peatón al subirse a la acera, que aportan seguridad al peatón a la hora de transitar. Además, bancas de descanso, cables de acero, señaléticas, letreros comerciales, cajas contenedoras metálicas ubicadas en los postes de luz.

Otro elemento que es posible encontrar en las zonas que se medirán y que no serán considerados en este caso aplicado, es el comercio ambulante, los cuales se ubican en las veredas, en las aceras o en los paseos peatonales. Esto se debe a su complejidad de categorización, puesto que pueden considerarse un atractivo o un obstáculo, dependiendo del segmento en el cual estén ubicados y, además, de la percepción del peatón.

Dentro de los ámbitos de seguridad y accesibilidad, un aspecto que no es considerado para realizar la medición son los elementos que facilitan al peatón a cruzar la calle en las intersecciones, tales como pasos de cebra, semáforos y aceras contiguas. Esto se debe a que en el desarrollo de esta memoria no era posible abarcar todas las características pertenecientes al entorno y se decidió medir ambos parámetros en base a lo que indica la literatura.

Con respecto a este parámetro de seguridad, es relevante mencionar que también puede ser visto desde otro punto, ya que para un peatón es importante la seguridad pública que le brinda un lugar, lo que hace referencia a que una persona que transita a pie prefiere circular por

donde sienta menor riesgo a sufrir asaltos. Para medirlo se debe tener en cuenta el alumbrado público, los rallados en las edificaciones, entre otras cosas. Sin embargo, esto no será contemplado en esta memoria.

Posteriormente, para la obtención de resultados, se diseña un sistema de clasificación que cuenta con 4 categorías, con los que se medirá la calidad del servicio proporcionado, comenzando desde la categoría 1 considerado el nivel más alto, continuando consecutivamente con las categorías 2 y 3 hasta llegar al más bajo, el nivel 4.

Categoría	Parámetros						
	Accesibilidad		Seguridad		Comodidad		Atractivo
	Amplitud acera (mts)	Inclusividad (U)	Calidad acera (U)	Velocidad tránsito (Km/h)	Densidad arbolado (125 mts)	Obstáculos (U)	Cantidad atractivos (U)
1	> 1,20	>= 2	0 a 1	Peatonal	>= 10	0	>= 10
2	1,2 a 0,9	-	2 a 4	20 a 30	9 a 6	1 a 3	9 a 6
3	0,8 a 0,6	1	5 a 7	50 y 1 carril	5 a 3	4 a 6	5 a 3
4	< 0,6	0	>= 8	50 y 2 o más carriles	0 a 2	>= 7	0 a 2

Tabla 1. Métrica para estandarización de resultados. Elaboración propia

En donde la amplitud de acera se mide en metros, la velocidad de tránsito en kilómetros por hora y la densidad de arbolado es la cantidad de árboles por cada 125 metros. Mientras que la inclusividad, la calidad de acera, los obstáculos y la cantidad de atractivos se miden cuantificando la cantidad encontrada por cada 125 metros.

Los valores presentados en la tabla anterior se determinan considerando distintos factores, tales como leyes vigentes o datos recopilados en investigaciones realizadas por expertos en el tema. Con respecto a los valores correspondientes al parámetro de accesibilidad, específicamente la amplitud de acera, el valor mínimo que debe tener lo estipula la Ordenanza general de Urbanismo y Construcciones (MINVU, 2016), indicando un ancho mínimo de 1,20 metros; en tanto, el valor señalado en el último nivel corresponde al ancho de la silla de ruedas.

En cuanto a los valores proporcionados en la velocidad de tránsito, éstos fueron extraídos del trabajo investigativo denominado “La calidad peatonal como método para calcular entornos de movilidad urbana” (Talavera & Valenzuela, 2012), puesto que se ajustan con las condiciones vistas, tanto prácticas como legales, en el centro de Rancagua.

Con respecto a los valores estipulados en la cantidad de atractivos en cada uno de los niveles, estos fueron determinados de manera arbitraria, considerando valores mínimos requeridos para que un sector sea atractivo bajo la percepción del peatón.

Finalmente, los resultados obtenidos mediante trabajo de campo serán registrados y almacenados en una planilla Excel, la cual se presenta a continuación:

Figura 2. Planilla para almacenar resultados. Elaboración propia

Se propone un modelo de optimización que busca maximizar la calidad del servicio de la infraestructura pública peatonal.

En primera instancia, se requiere la elaboración de un grafo que represente la zona geográfica en que se aplicará el caso de estudio, lo cual se realiza mediante dos archivos Excel, en donde se almacenan los datos requeridos para su construcción. Uno de ellos contiene nodos, los que representan las esquinas o intersecciones de las aceras, junto a su longitud y latitud. Mientras que el otro archivo contiene las aristas, representando las uniones entre los nodos, es

decir, las aceras, junto al respectivo nombre de la calle y la evaluación correspondiente para cada parámetro determinado en métrica anteriormente presentada. (Anexo 1)

Este grafo se realizó a través la librería NetWorkX de Python, el cual posee 161 nodos y 417 aristas y se presenta a continuación.

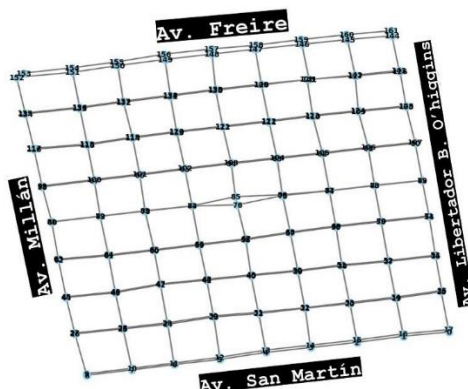


Figura 3. Grafo Centro de Rancagua. Elaboración propia

Posteriormente, se determina la trayectoria que realizará el peatón, considerando el punto de origen y de llegada. Para esto, se define una función en lenguaje Python que entregue una lista con 50 pares de nodos creados aleatoriamente por el software.

Existen múltiples trayectos que los peatones pueden recorrer para ir desde un punto a otro, y su elección se puede ver influenciada por diversos factores, como por ejemplo el poco flujo de personas en ciertas aceras, la percepción de sufrir menos robos, recorrer rutas más cortas, entre otros motivos. Sin embargo, se decide considerar el supuesto de que las personas siempre escogerán el camino más corto para ir desde un lugar a otro.

Considerando que el conjunto de pares origen–destino (W) es generado aleatoriamente, se utiliza la función `shortest path` de NetWorkX que retorna el camino más corto entre ellos, indicando para cada par, todos los nodos por los cuales se debe transitar, además, se demarcando la ruta en rojo.

Luego, se crea una planilla para almacenar el impacto que tienen las intervenciones que se pueden realizar en cada una de las características que se evaluaron anteriormente, las cuales son: pavimentar la acera, plantar un árbol, cambiar de posición un semáforo o un poste de luz

para que no obstaculice el tránsito peatonal, entre otras cosas. Cabe mencionar que este archivo será utilizado para el modelo de optimización, ya que para maximizar la calidad de servicio, es necesario saber si la realización de alguna de estas intervenciones produce cambios en las mediciones efectuadas con las condiciones actuales.

Es preciso definir los datos que se desea guardar, siendo en este caso, importante contar con una columna de id, el cual es otorgado de manera consecutiva comenzando desde el número 0. Además, se requiere el total de las aristas con las que se está trabajando, las que representan tanto las aceras de lado norte como las aceras del lado sur de cada una de las calles pertenecientes al perímetro del caso de estudio. Para efectos de simplicidad, este ítem se separa en 2 columnas, cada una con un punto de conexión, es decir, cada una contiene uno de los nodos que se conectan para formar las aristas.

En la cuarta columna se almacenan las intervenciones que se pueden realizar en cada una de las aceras estudiadas, relacionadas al mal estado del pavimento, la falta de arbolado, la falta de atractivos, la presencia de obstáculos, entre otros. Es importante mencionar que cada posible intervención se separa según cómo impacta en la calidad de servicio entregada en base a la herramienta de medición adoptada previamente y se toma como entradas diferentes de datos, por ejemplo, en el caso del arbolado, si actualmente hay 3 árboles en una de las aristas, posicionando esta categoría en nivel 3, por lo que se necesitan plantar otros 3 árboles para subir un nivel, pero para llegar al nivel más alto (nivel 1) se requieren 7. Las diferentes opciones con las que se pueden mejorar la calidad del servicio peatonal se almacenan de manera separada. Además, en caso de no existir intervenciones a realizar la casilla se deja en blanco.

En las siguientes 7 columnas se encuentra el impacto que tiene una determinada intervención en cada una de las características medidas, las cuales son: ancho de acera, inclusividad, calidad de acera, velocidad de tránsito, densidad de arbolado y atractivos. Estas columnas se completan cuantificando los niveles que se puede ascender hasta llegar al más alto dependiendo de la cantidad de elementos que se requieran modificar, por ejemplo, si en la categoría “calidad de acera” tengo 3 imperfectos en el pavimento, según la herramienta de medición adaptada para este caso aplicado, se necesita mejorar 2 para subir un nivel.

En la columna siguiente se ingresa el costo que se tiene por cada intervención que se puede realizar, en este caso, se escoge la cantidad mínima requerida para ascender entre los niveles de la herramienta. Además, los costos utilizados son valores referenciales, ya que pueden variar según la UF.

Se define y almacena la incompatibilidad existente entre las intervenciones que se pueden realizar, por ejemplo, entre arreglar 1 pavimento y plantar 1 árbol nuevo no existe incompatibilidad pues ambas mejoras pueden efectuarse al mismo tiempo sin inconvenientes. Es por esto que para este tipo de situaciones la evaluación es -1. Mientras que, si es preciso reparar 5 desperfectos en la acera, se tienen dos opciones, la primera es sólo reparar 2 y subir un nivel y la segunda es reparar los 5 y subir 2 niveles, quedando en el más alto. Al analizar la situación anterior, es posible notar que ambas opciones no pueden realizarse al mismo tiempo, por lo que son incompatibles entre sí. Por lo que, para completar la información necesaria en esta columna se utilizan los id, identificando cuáles elementos son incompatibles entre sí.

La siguiente imagen representa el csv creado con la información previamente explicada.

id	id_aristas1	id_aristas2	intervencion	ancho_acera	inclusividad	calidad_acer	velocidad_tra	densidad_arb	obstaculos	atractivos	costo	incompatibilidad
0	0	1	pavimento1	0	0	1	0	0	0	0	120000	1
1	0	1	pavimento2	0	0	2	0	0	0	0	300000	0
2	0	1	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	600000	-1
3	16	17	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	300000	4,5
4	16	17	arbolado2	0	0	0	0	2	0	0	750000	3,5
5	16	17	arbolado3	0	0	0	0	3	0	0	1350000	3,4
6	1	2	pavimento1	0	0	1	0	0	0	0	60000	-1
7	1	2	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	450000	-1
8	15	16	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	300000	-1
9	2	3	pavimento1	0	0	1	0	0	0	0	60000	10
10	2	3	pavimento2	0	0	2	0	0	0	0	240000	9
11	2	3	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	450000	12,13
12	2	3	arbolado2	0	0	0	0	2	0	0	900000	11,13
13	2	3	arbolado3	0	0	0	0	3	0	0	1500000	11,12
14	14	15	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	150000	15,16
15	14	15	arbolado2	0	0	0	0	2	0	0	900000	14,16
16	14	15	arbolado3	0	0	0	0	3	0	0	1200000	14,15
17	3	4	pavimento1	0	0	1	0	0	0	0	180000	18
18	3	4	pavimento2	0	0	2	0	0	0	0	360000	17
19	3	4	arbolado1	0	0	0	0	1	0	0	450000	20,21
20	3	4	arbolado2	0	0	0	0	2	0	0	900000	19,21

Figura 4. Csv Intervenciones. Elaboración propia

Finalmente, se crea el modelo de optimización lineal entera, el cual tiene como propósito maximizar la calidad de servicio entregada al peatón por la infraestructura pública (QoS), sujeto a la restricción presupuestaria (B), puesto que cada modificación que se quiera realizar para mejorar la calidad tiene asociado un costo C_{ij}^a . El modelo de optimización a utilizar es el que se presenta a continuación:

$$MAX \frac{1}{|W|} \sum_w QoS_w$$

$$s. a. \sum_{a \in I} C_a X_a \leq B \quad (1)$$

$$X_a + \sum_{a' \in Incomp[a]} X_{a'} \leq 1, \forall a \in I \quad (2)$$

$$X_a \in \{0,1\} \quad (3)$$

$$con, QoS_w = \frac{1}{L(SP_w)} \sum_{(i,j) \in SP_w} \sum_{k=1}^7 \frac{1}{7} [\bar{M}_{ij}^k + \sum_{a \in I_{[ij]}} X_{ij}^a \Delta_{ij}^{ak}]$$

En donde, se tiene un Grafo : (N, A) que contiene nodos y aristas, W un conjunto de pares de nodos, $I_{[ij]} = \text{Intervenciones disponibles en el tramo } (i, j)$ correspondiente a todas las intervenciones que se pueden realizar en un determinado tramo y C_a como el costo asociado a realizar dicha intervención y Δ_{ij}^{ak} el estimador de cambio en el indicador, cuyo valor para este caso será fijo. Además, X_a corresponde a una variable binaria cuyo valor es 1 si se realiza la intervención a en (i, j) y 0 si no. Con respecto a las restricciones mencionadas, (1) corresponde a que la suma de todos los costos que se tendrán por realizar las modificaciones y así asegurar el mejoramiento de la calidad del servicio ofrecido, no puede sobrepasar el presupuesto con el que se cuenta. Mientras que (2) indica que existen intervenciones a realizar en los diferentes tramos que son incompatibles entre sí, por lo que no es posible realizar ambas de forma simultánea. Finalmente, (3) determina la naturaleza de las variables.

III. Etapa de visualización.

Por último, se presentan las visualizaciones de los resultados obtenidos en la etapa anterior. Para esto, se genera un grafo por cada tipo de intervención que se está considerando (ancho de acera, inclusividad, calidad de acera, velocidad de tránsito, densidad de arbolado, obstáculos y atractivos). Se muestran las aceras destacadas de diferentes colores según le corresponda a cada intervención. El color rojo representa el ancho de acera, el naranja la inclusividad, el verde la calidad de acera, el celeste la densidad de arbolado, el morado los obstáculos, el amarillo los atractivos y el rosado la velocidad de tránsito.

Resultados

Para la presentación de resultados de esta memoria, la sección se dividirá en tres aspectos, en donde en primera instancia se muestra la medición realizada sobre la calidad de servicio entregada actualmente por la infraestructura peatonal del centro de Rancagua, basada en la herramienta de medida adaptada y presentada anteriormente. Luego, el segundo aspecto corresponde a los resultados obtenidos a través del modelo de optimización desarrollado para este trabajo, el cual maximiza la calidad de servicio otorgado. Finalmente, el último aspecto contempla la visualización de los resultados finales de este trabajo investigativo.

I. Mediciones aplicadas.

En esta etapa se realizaron mediciones con respecto a la calidad del servicio relacionada a la infraestructura pública peatonal ofrecida en Rancagua, específicamente, en la zona céntrica, cuya delimitación para este caso aplicado está demarcada por las calles San Martín, Av. Freire, Av. Libertador B. O'higgins y Av. Millán. Para cada calle perteneciente a este perímetro, se consideraron la acera norte independiente de la acera sur, por lo que cada una de ellas posee una medición independiente, es decir, por cada calle se obtienen dos mediciones diferentes. Además, para la realización se consideran los 7 parámetros definidos en la herramienta de medida, por lo que por cada acera se obtiene un conjunto con estos 7 resultados, los cuales corresponden al nivel en el que se encuentran según los diferentes criterios presentados en la herramienta. A continuación, se muestra un ejemplo.

$$\textit{Acera Norte San Martín (Cáceres – Mujica)} = \{2, 3, 3, 1, 4, 3, 1\}$$

Para la realización de la medición se decidió utilizar Google Maps, puesto que facilita el proceso y es una herramienta computacional fiable. En primer lugar, se verifica que todas las imágenes proporcionadas fueran actuales, determinándose que todas pertenecen al año en curso, con el fin de que los resultados sean confiables.

El primer parámetro a medir es el ancho de la acera y para ello, se mide el ancho de la parte más angosta de ella, pues en muchas ocasiones en el segmento a medir, ésta presenta diferentes proporciones. Luego, se mide la inclusividad, en donde se cuenta la cantidad de vados reducidos en buen estado que presenta el segmento. El tercer parámetro corresponde a la calidad de la

acera y para medirlo se cuantifican la cantidad de roturas en el pavimento o desniveles que se presentan. Después, se requiere la cantidad de carriles y la velocidad máxima de tránsito para medir la velocidad de tránsito. El siguiente parámetro es la densidad de arbolado, para lo que se cuantifica la cantidad de árboles que hay en el determinado segmento. Posterior a esto, se mide la cantidad de obstáculos que se presentan en esa acera, y finalmente, se contabiliza la cantidad de atributos que hay utilizando la isócrona, es decir, se traza una circunferencia desde el punto en donde se está midiendo, y se cuenta la cantidad de atractivos a los que se puede llegar hasta a 5 minutos caminando.

Cabe destacar que, determinadas mediciones fueron corroboradas en terreno debido a que en algunas fotografías satelitales de Google Maps no era posible apreciar de manera clara el ámbito que se refería medir.

Por otro lado, todas estas mediciones se almacenan en una planilla Excel, la que se muestra a continuación:

id_aristas1	id_aristas2	nombre_calle	ancho_acera	inclusividad	calidad_acera	velocidad_transito	densidad_arbolado	obstaculos	atractivos
0	1	VN San Martin (Alameda - Caceres)	1	1	3	4	2	1	1
16	17	VS San Martin (Alameda - Caceres)	1	1	1	4	4	1	1
1	2	VN San Martin (Caceres - Mujica)	1	1	2	4	2	1	1
15	16	VS San Martin (Caceres - Mujica)	1	1	1	4	2	1	1
2	3	VN San Martin (Mujica - Cuevas)	1	1	3	4	4	1	1
14	15	VS San Martin (Mujica - Cuevas)	1	1	1	4	4	1	1
3	4	VN San Martin (Cuevas - Independencia)	2	1	3	4	4	1	1
13	14	VS San Martin (Cuevas - Independencia)	1	1	1	4	1	1	1
4	5	VN San Martin (Independencia - Ocarrol)	1	1	1	4	4	1	1
12	13	VS San Martin (Independencia - Ocarrol)	1	4	1	4	3	1	1
5	6	VN San Martin (Ocarrol - Gamero)	1	1	1	4	2	1	1
11	12	VS San Martin (Ocarrol - Gamero)	1	1	1	4	3	1	1
6	7	VN San Martin (Gamero - Ibieta)	1	1	2	4	3	1	1
10	11	VS San Martin (Gamero - Ibieta)	1	1	1	4	4	1	1
7	8	VN San Martin (Ibieta - Millan)	1	1	2	4	3	1	1
9	10	VS San Martin (Ibieta - Millan)	1	1	1	4	3	1	1
18	19	VN Bueras (Alameda - Caceres)	2	1	1	4	1	1	1
34	35	VS Bueras (Alameda - Caceres)	1	1	2	4	3	1	1

Figura 5. Planilla Excel de almacenamiento de mediciones. Elaboración propia

Como se aprecia, en la planilla no sólo es posible encontrar las mediciones realizadas y el nombre de la calle a la que se hace referencia, sino también los nodos correspondientes a cada tramo, denominados id_aristas1 y id_aristas2.

II. Modelo de optimización.

Los resultados obtenidos mediante la resolución del modelo de optimización que maximiza la calidad del servicio indican las intervenciones que se pueden realizar en las diferentes aceras, la cantidad de modificaciones que se pueden hacer en cada una y el impacto que éstas tienen, es

decir, cuánto logran mejorar la calidad. Éstos se aprecian en el apartado de Anexo 2, en donde se utilizó un presupuesto de \$31.046.900, correspondiente al 10% del costo de realizar el total de las intervenciones.

Es posible detectar que la mayor cantidad de intervenciones que se pueden realizar corresponden a los parámetros de densidad de arbolado y de calidad de acera, mientras que también se aprecian algunas modificaciones en inclusividad y ancho de acera.

Al realizar una comparativa utilizando 3 presupuestos diferentes, sólo varía la cantidad de intervenciones que se pueden realizar, sin embargo, los tipos de intervenciones no cambian. Además, varía la cantidad de elementos a incorporar o eliminar en la intervención de una misma acera, por ejemplo, relacionado al parámetro de densidad de arbolado, al tener un menor presupuesto se indica agregar 1 árbol en la acera. Mientras que al tener un mayor presupuesto se permitirá incorporar 3 árboles.

En relación con las categorías de obstáculos y velocidad de tránsito no es posible apreciar ninguna intervención, lo cual puede deberse al costo asociado que estas poseen. En vista de que no se le asigna un valor o peso diferente a las categorías que se están midiendo y se está trabajando sujeto a una restricción de presupuesto, se puede inferir que se prefiere realizar una mayor cantidad de intervenciones que tengan un menor costo. Debido que en el modelo desarrollado para la realización de esta memoria se maximiza la calidad del servicio como un promedio de todas las características consideradas, se les otorga la misma relevancia a todas, con lo cual no se obtiene el mejor resultado posible. Mientras que, en la categoría de atractivos no se requieren intervenciones, puesto que en toda la zona medida se encuentra en el mejor nivel. Este resultado se debe a que las mediciones se realizaron en la zona céntrica de la ciudad.

Finalmente, se muestra un gráfico de línea que compara la variación del promedio de la calidad del servicio, utilizando 3 presupuestos diferentes. El eje X corresponde a los presupuestos expresados en pesos chilenos, mientras que, el eje Y es la calidad del servicio (QoS) promedio.

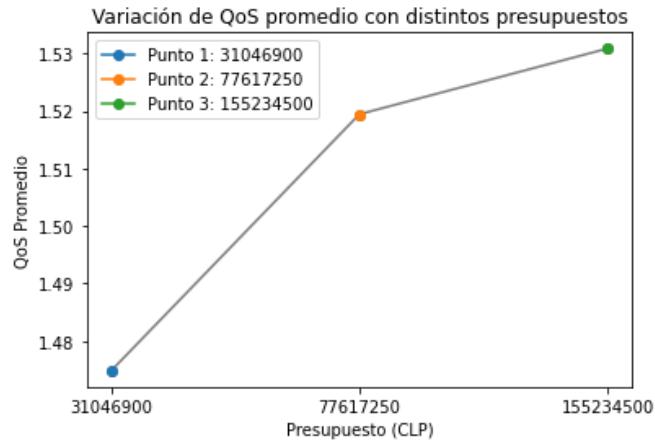


Gráfico 1. Variación de QoS promedio con diferentes presupuestos. Elaboración propia

Los presupuestos 1, 2 y 3 se eligieron calculando el 10, 25 y 50% del costo total de realizar todas las intervenciones que se detectaron al momento de realizar las mediciones en terreno.

Como es posible apreciar en el gráfico 1, la curva es ascendente en tanto el presupuesto es mayor. Por lo que, es posible determinar que la calidad del servicio promedio va aumentando al mismo tiempo que el presupuesto lo hace. Sin embargo, la tasa de crecimiento decrece a medida que se aumenta el presupuesto, lo cual se debe a que a medida que la cantidad de intervenciones realizadas van aumentando, se llegará a un punto límite, pues aunque se designe mayor presupuesto, las modificaciones ya estarán reparadas por completo. Este resultado tiene sentido, ya que el contar con una cantidad mayor de dinero permite realizar más intervenciones en la infraestructura, lo que trae consigo una mayor calidad en el servicio entregado, sin embargo, la cantidad de intervenciones que se pueden realizar son limitadas, por lo que en algún momento se llegará a un límite.

III. Visualización

En cuanto a la visualización de los resultados, se crearon diferentes grafos a través la librería NetWorkX de Python para cada intervención y considerando 3 presupuestos diferentes. Se representan las aceras en donde se pueden realizar modificaciones destacadas con diferentes colores según corresponda. Para el parámetro de ancho de acera se utilizó el color rojo, en

inclusividad el color naranja, en calidad de acera el verde y para densidad de arbolado se usó el color celeste.

En primera instancia se presentan las visualizaciones correspondientes al presupuesto más bajo, \$31.046.900, referente al 10% del costo total de realizar todas las intervenciones.

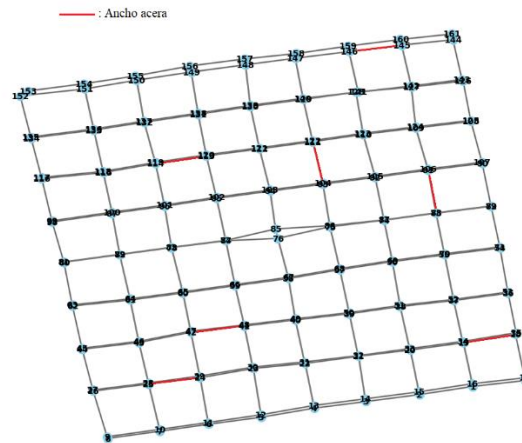


Figura 6. Grafo centro de Rancagua, intervención: ancho de acera. Elaboración propia

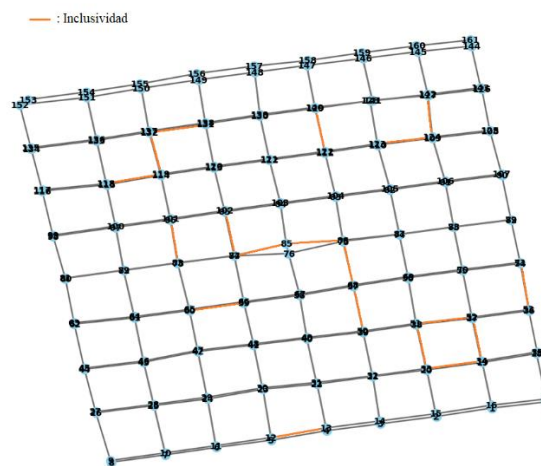


Figura 7. Grafo centro de Rancagua, intervención: inclusividad. Elaboración propia

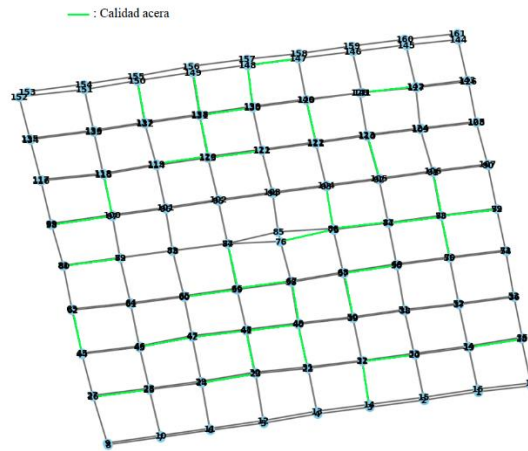


Figura 8. Grafo centro de Rancagua, intervención: calidad de acera. Elaboración propia

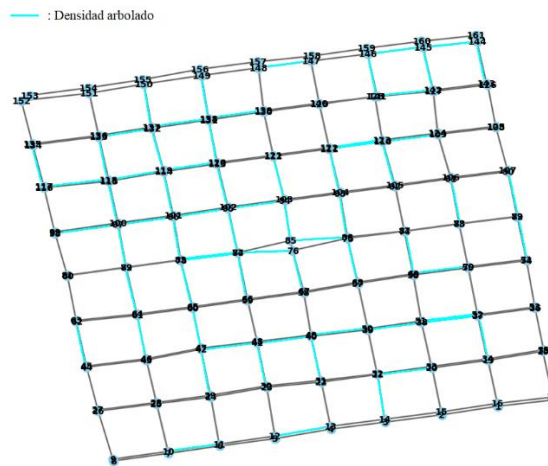


Figura 9. Grafo centro de Rancagua, intervención: densidad arbolado. Elaboración propia

En segunda instancia se presentan las visualizaciones correspondientes al presupuesto intermedio, para el que se utilizó el 25% del costo total de realizar todas las intervenciones, \$77.617.250.

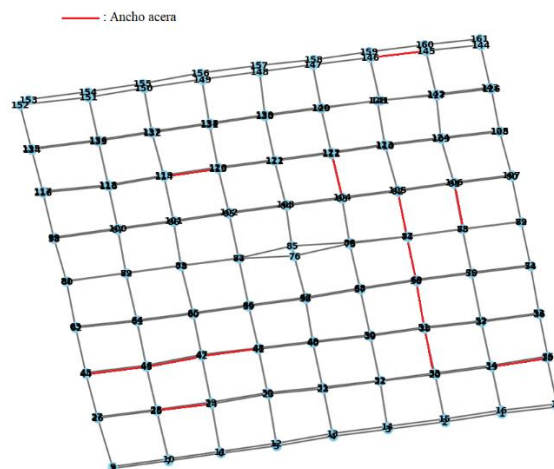


Figura 10. Grafo centro de Rancagua, intervención: ancho de acera. Elaboración propia

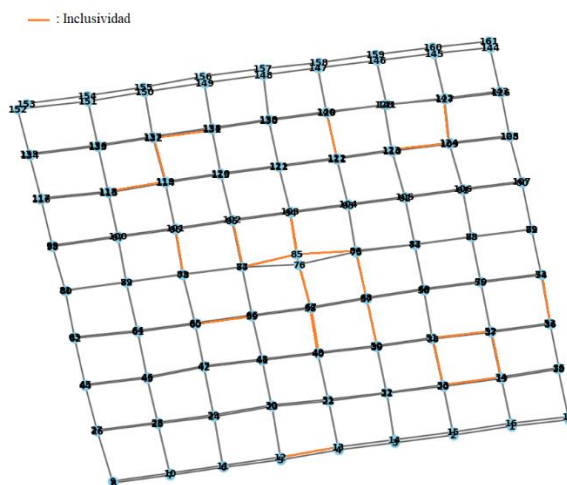


Figura 11. Grafo centro de Rancagua, intervención: inclusividad. Elaboración propia

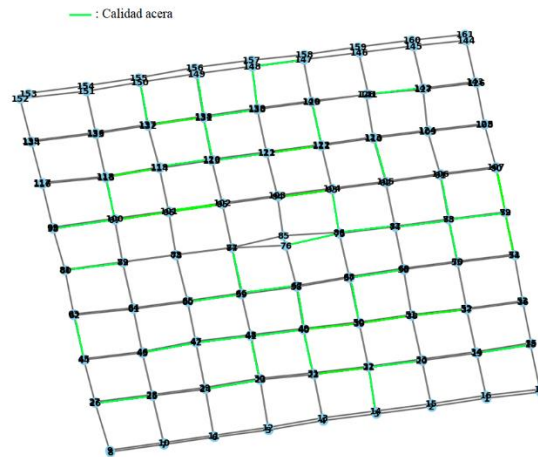


Figura 12. Grafo centro de Rancagua, intervención: calidad de acera. Elaboración propia

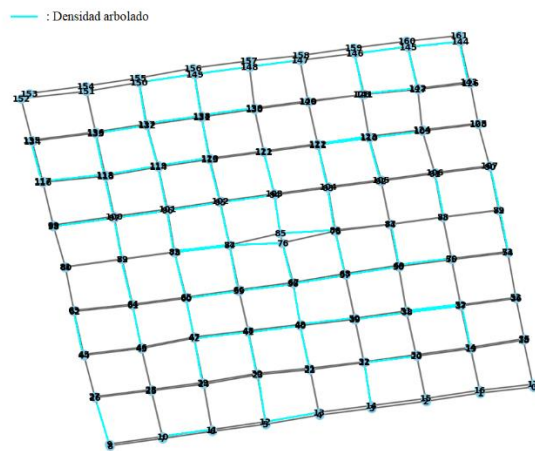


Figura 13. Grafo centro de Rancagua, intervención: densidad arbolado. Elaboración propia

Finalmente, en la tercera instancia se presentan las visualizaciones correspondientes al presupuesto intermedio, para el que se utilizó el 25% del costo total de realizar todas las intervenciones, \$155.234.500.

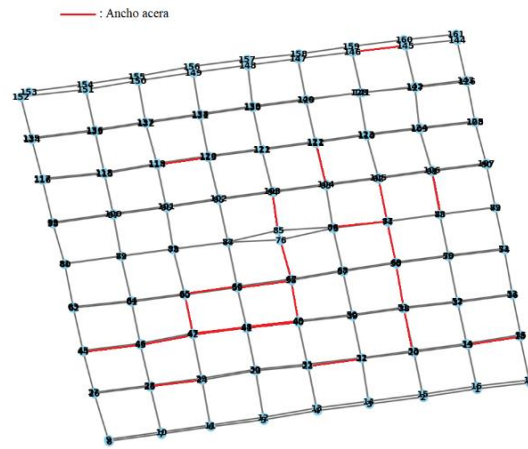


Figura 14. Grafo centro de Rancagua, intervención: ancho de acera. Elaboración propia

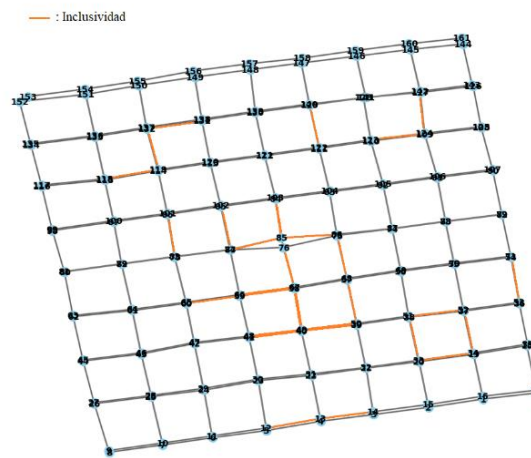


Figura 15. Grafo centro de Rancagua, intervención: inclusividad. Elaboración propia

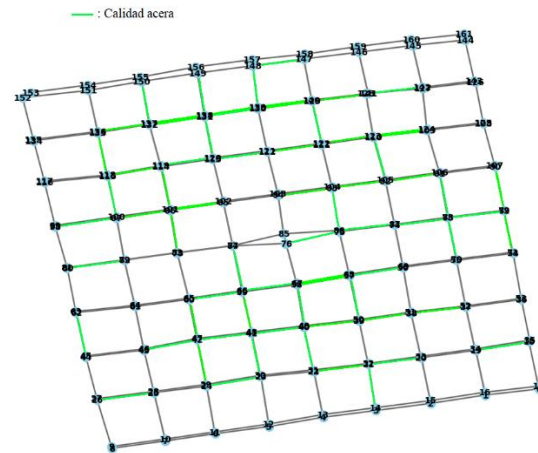


Figura 16. Grafo centro de Rancagua, intervención: calidad de acera. Elaboración propia

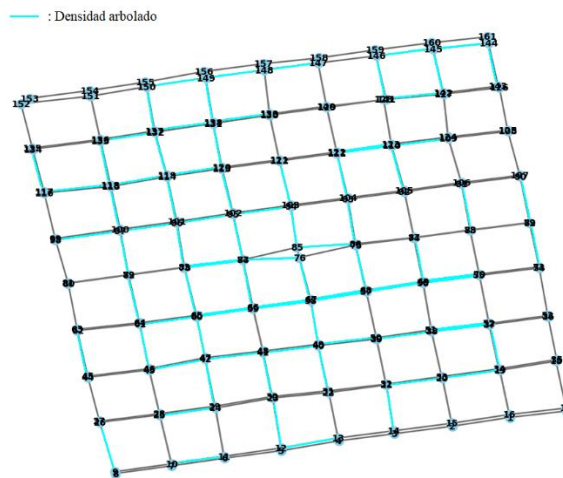


Figura 17. Grafo centro de Rancagua, intervención: densidad arbolado. Elaboración propia

Conclusión

Como conclusión de lo expuesto en esta memoria, mediante el desarrollo y adaptación de una herramienta de medida que sea capaz de estandarizar los parámetros y los valores obtenidos al momento de realizar las mediciones en terrero, es posible obtener resultados que sean favorables para la toma de decisiones con respecto al mejoramiento del espacio público utilizado por peatones. A pesar de que varios indicadores de calidad de servicio de la infraestructura quedaron fuera de esta investigación, el proponer un modelo de optimización que maximice la calidad del servicio, utilizando los parámetros considerados y basado en una restricción presupuestaria, puede proporcionar un buen acercamiento a la realidad.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que, al contar con un mayor presupuesto, es posible realizar una cantidad más grande de intervenciones, y como consecuencia, el promedio de la calidad de servicio entregada mejora. Esto tiene sentido, puesto que mientras más dinero se tenga para realizar las intervenciones, mayor cantidad de estas se podrán hacer, lo cual influye directamente en la calidad de servicio que se está midiendo. Mostrando que, una herramienta prescriptiva permite entender y priorizar las decisiones de inversión relacionadas a la mejora de la calidad en la infraestructura peatonal.

Al aumentar la inversión en infraestructura pública peatonal y realizar la mayor cantidad de intervenciones, es posible crear un entorno más amigable y transitable para las personas que se movilizan a pie. Estos cambios son capaces de potenciar la movilidad peatonal, haciendo del sector un lugar más atractivo para visitar. En consecuencia, se produce un aumento en las ventas del comercio del sector, una menor congestión vehicular y una menor contaminación ambiental y acústica.

Cabe mencionar que para un futuro trabajo investigativo es importante considerar la percepción del peatón de manera más empírica, lo cual se puede llevar a cabo mediante encuestas realizadas a las personas. Esto con el fin de determinar que parámetros o elementos de la infraestructura peatonal considerar y cuales les parecen más relevantes que otros.

Otro aspecto importante es que al maximizar la calidad del servicio como un promedio de los 7 parámetros expuestos, los resultados obtenidos se alejan un poco de la realidad, puesto

que es posible que en uno de ellos la infraestructura se encuentre muy deficiente, mientras que en otro esté en excelentes condiciones. Es por ello que, es significativo asignarle diferentes pesos a cada uno de los parámetros y que esto se vea reflejado en el modelo de optimización.

En esta memoria se trabajó utilizando el camino más corto como método para determinar las trayectorias de los peatones. Sin embargo, una manera más efectiva para proceder en este aspecto es mediante la información de desplazamientos que manejan las compañías telefónicas a través del gps del smartphone, ya que de esta forma se trabajará con datos reales.

Finalmente, al realizar la medición en la zona delimitada para este caso aplicado, es posible notar que hay muchas cosas las cuales se pueden hacer para mejorar la calidad del servicio, puesto que en la actualidad, el centro de Rancagua no es muy amigable ni confortable para las personas que circulan a pie. Por ello, esta memoria entrega un acercamiento de cómo actuar frente a esta situación.

Referencias

- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M., y Shah, M. Z. (2013). Non-motorised level of service: Addressing challenges in pedestrian and bicycle level of service. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775613>
- Barrero, A., Wagner, G., y Méndez, R. (2010). Introducción a la teoría de grafos. Armenia, Colombia. https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=3hH11r7j1tcC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Barrero,+2010+grafos&ots=Ljt2A97f3_&sig=8op17QwvLzPdoXqZB67Mdh2Az7k#v=onepage&q&f=false
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2023). Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Decreto 3. Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1192184&idParte=10430904&idVersion=2023-05-15>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2018). Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Decreto 3. Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1118358&idParte=9911980&idVersion=2018-11-11>
- Baicedo, A., V.; Wagner, G. & Méndez, R. (2010). Introducción a la teoría de grafos. Armenia, Colombia. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3hH11r7j1tcC&oi=fnd&pg=PR1&dq=definici%C3%B3n+de+grafo&ots=LiC7v70b04&sig=sFOMl0HLFNMKo_K1mxWt_66Z4Z0#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20de%20grafo&f=false
- Chuaqui J. (2016). El concepto de la inclusión social. Universidad de Valparaíso, Chile. <https://rcs.uv.cl/index.php/rcs/article/view/927/890>
- Landis, B.; Vattikuti, V.; Ottenberg, R.; Mcleod, D. y Guttenplan, M. (2001). Modeling the Roadside Walking Environment: Pedestrian Level of Service. Florida.
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., y Cybis, H. B. B. (2019). Using best-worst scaling to identify barriers to walkability: a study of porto alegre, brazil. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9944-x>
- Li, X., Maghelal, P., Tso, Y., Ryan, M., Durodoye, J., Wangpatravanich, P. y Jensen, K. (2018). Evaluating Walkability and Bikeability in a Campus Setting. EE.UU

https://www.researchgate.net/publication/366091957_Evaluating_Walkability_and_Bikeability_in_a_Campus_Setting

Ministerio del Interior. (2014). Los peatones. Madrid.
https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/educacion-vial/adultos/no-formal/peatones.pdf

Ministerio de Culturas. (2017). Uso de lenguaje inclusivo persona en situación de discapacidad. Sección de Participación– Género e Inclusión. Chile.
<https://www.cultura.gob.cl/wp-content/uploads/2017/01/guia-recomendaciones-lenguaje-inclusivo-discapacidad.pdf>

MINVU. (2019). Resumen de modificaciones y rectificaciones de la ordenanza general de urbanismo y construcciones. Chile.
<https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/OGUC-Mayo-2020-D.S.-N%C2%B01-D.O.-29-05-2020.pdf>

Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J., Barquín, J. y Linares, P. (2010). Modelos matemáticos de optimización. Universidad Pontificia Comillas. Madrid.
https://www.researchgate.net/profile/Andres-Ramos-12/publication/237494291_MODELOS_MATEMATICOS_DE_OPTIMIZACION/links/0deec5267a6d11132e000000/MODELOS-MATEMATICOS-DE-OPTIMIZACION.pdf

Rancagua, M. (2022). Ordenanza local sobre diseño y construcción del espacio público, áreas verdes y parques en la comuna de Rancagua. Rancagua, Chile.
https://rancagua.cl/upload/pdf/Ordenanza_Disenio-Construccion-Espacio-Pub-Areas-Verdes-Parques.pdf

Talavera, R., Soria, J., & Valenzuela, L. (2012). La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana. Granada.
https://ddd.uab.cat/pub/dag/dag_a2014m1-4v60n1/dag_a2014m1-4v60n1p161.pdf

Talavera, R. & Valenzuela, L. (2015). Entornos de movilidad peatonal: una revisión de enfoques, factores y condicionantes. Granada.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612015000300001

Jivesh Ujjwal & Ranja Bandyopadhyaya (2023). Development of comprehensive service quality assessment framework for sidewalks considering desired and actual conditions. Transportation Letters, 15:3, 227–241, DOI: 10.1080/19427867.2022.2047439

WalkScore (2011). Walk Score Methodology. Seattle. Aguirre Pastén, B. (2018). *Intervención social. Dispositivos de continuidad, ruptura y oportunidad en el escenario social contemporáneo del trabajo social y las ciencias sociales*. Ediciones Universidad Santo Tomás.

Anexos

Anexo 1. Planillas elaboradas para el almacenamiento de datos, la primera contiene los nodos a utilizar, sus latitudes y longitudes correspondientes, mientras que, en la segunda se presentan sus conexiones (aristas) junto a sus respectivos nombres y la puntuación otorgada al momento de realizar la evaluación en base a la métrica adaptada para este caso de estudio.

Referencia figura 3:

id	latitud	longitud
0	-34.164.970	-70.745.434
1	-34.166.097	-70.745.624
2	-34.167.239	-70.745.885
3	-34.168.384	-70.746.108
4	-34.169.489	-70.746.319
5	-34.170.621	-70.746.609
6	-34.171.748	-70.746.832
7	-34.172.791	-70.747.058
8	-34.173.911	-70.747.287
9	-34.173.920	-70.747.233
10	-34.172.798	-70.746.999

Excel de nodos

id_aristas1	id_aristas2	nombre_calle	ancho_acera	inclusividad	calidad_acera	velocidad_transito	densidad_arbolado	obstaculos	atractivos
0	1	VN San Martín (Alameda - Caceres)	1	1	3	4	2	1	1
16	17	VS San Martín (Alameda - Caceres)	2	1	1	4	4	1	1
1	2	VN San Martín (Caceres - Mujica)	1	1	2	4	2	1	1
15	16	VS San Martín (Caceres - Mujica)	2	1	1	4	2	1	1
2	3	VN San Martín (Mujica - Cuevas)	1	1	4	4	4	1	1
14	15	VS San Martín (Mujica - Cuevas)	2	1	1	4	4	1	1
3	4	VN San Martín (Cuevas - Independencia)	2	1	4	4	4	1	1
13	14	VS San Martín (Cuevas - Independencia)	3	1	2	4	1	1	1
4	5	VN San Martín (Independencia - Ocarrol)	1	1	1	4	4	1	1

Excel de aristas

Anexo 2. Tablas elaboradas para el almacenamiento detallado de los resultados obtenidos, en donde se encuentran los nodos de origen y destino, el nombre de la calle, las intervenciones que se pueden realizar en la zona delimitada para el caso de estudio, ordenadas según las diferentes categorías y la mejora que produce.

- Categoría: Ancho de acera

Nodo origen	Nodo destino	Nombre calle	Cantidad	Mejora
18	19	VS San Martín (Independencia - Ocarrol)	1	1
28	29	VS Bueras (Gamero - Ibieta)	1	1
113	114	VN Almarza (O'carrol - Gamero)	1	1

106	109	VS Cáceres (Alcazar – Almarza)	1	1
104	111	VS Cuevas (Alcazar – Almarza)	1	1
145	146	VN Freire (Mujica – Cuevas)	1	1
41	42	VN Astorga (O'carrol – Gamero)	1	1

Tabla 2. Intervenciones en categoría ancho de acera. Elaboración propia

- Categoría: Inclusividad

Nodo origen	Nodo destino	Nombre calle	Cantidad	Mejora
12	13	VS San Martín (Independencia – O'carrol)	2	3
33	34	VS Bueras (Cáceres – Mujica)	1	2
59	60	VN Campos (O'carrol – Gamero)	1	2
84	85	VS Estado (Independencia – O'carrol)	1	2
123	124	VS Almarza (Cáceres – Mujica)	1	2
53	54	VN Alameda (Astorga – Campos)	1	2
34	37	VS Cáceres (Bueras – Astorga)	2	3
124	127	VS Cáceres (Almarza – Zañartu)	3	2

33	38	VS Mujica (Bueras – Astorga)	1	2
50	57	VS Cuevas (Astorga – Campos)	3	2
68	75	VS Cuevas (Campos – Estado)	2	3
122	129	VS Cuevas (Almarza – Zañartu)	1	2
84	95	VS O'carrol (Estado – Alcázar)	2	3
83	96	VS Gamero (Estado – Alcázar)	1	2
119	132	VS Gamero (Almarza – Zañartu)	1	2
118	119	VS Almarza (Gamero – Ibieta)	1	2
51	52	VS Astorga (Cáceres – Mujica)	1	2
85	86	VS Estado (Cuevas – Independencia)	1	2
131	132	VN Zañartu (O'carrol – Gamero)	1	2

Tabla 3. Intervenciones en categoría inclusividad. Elaboración propia

- Categoría: Calidad de acera

Nodo origen	Nodo destino	Nombre calle	Cantidad	Mejora
34	35	VS Bueras (Alameda – Cáceres)	1	1

32	33	VS Bueras (Mujica - Cuevas)	1	1
29	30	VS Bueras (O'carrol - Gamero)	1	1
28	27	VS Bueras (Ibieta - Millán)	1	1
42	43	VN Astorga (Gamero - Ibieta)	1	1
56	57	VN Campos (Mujica - Cuevas)	3	1
66	67	VS Campos (Independencia - O'carrol)	1	1
59	60	VN Campos (O'carrol - Gamero)	1	1
72	73	VN Estado (Alameda - Cáceres)	2	1
73	74	VN Estado (Cáceres - Mujica)	1	1
86	87	VS Estado (Mujica - Cuevas)	1	1
75	76	VN Estado (Cuevas - Independencia)	1	1
79	80	VN Estado (Ibieta - Millán)	1	1
97	98	VN Alcazar (Ibieta - Millán)	1	1

112	113	VN Almarza (Riesco - O'carrol)	1	1
141	142	VS Zañartu (Cáceres - Mujica)	2	1
70	73	VS Caceres (Campos - Estado)	2	1
88	91	VS Caceres (Estado - Alcázar)	1	1
14	21	VS Cuevas (San Martín - Bueras)	2	1
50	57	VS Cuevas (Astorga - Campos)	2	1
122	129	VS Cuevas (Almarza - Zañartu)	1	1
31	40	VS Independencia (Bueras - Astorga)	1	1
49	58	VS Independencia (Astorga - Campos)	2	1
139	148	VS Independencia (Zañartu - Freire)	2	1
30	41	VS O'carrol (Bueras - Astorga)	1	1
66	77	VS O'carrol (Campos - Estado)	1	1
120	131	VS O'carrol (Almarza - Zañartu)	1	1

138	149	VS O'carrol (Zañartu - Freire)	1	1
86	93	VS Cuevas (Estado - Alcazar)	1	1
150	137	VS Gamero (Zañartu - Freire)	1	1
97	82	VS Ibieta (Estado - Alcazar)	2	1
62	45	VN Millán (Astorga - Campos)	1	1
147	148	VN Freire (Cuevas - Riesco)	1	1
105	110	VS Mujica (Alcázar - Almarza)	1	1
119	120	VS Almarza (O'carrol - Gamero)	1	1
130	131	VN Zañartu (Independencia - O'carrol)	1	1
41	42	VN Astorga (O'carrol - Gamero)	1	1
20	21	VN Bueras (Mujica - Cuevas)	1	1
40	41	VN Astorga (Independencia - O'carrol)	1	1

Tabla 4. Intervenciones en categoría calidad de acera. Elaboración propia

- Categoría: Densidad de arbolado

Nodo origen	Nodo destino	Nombre calle	Cantidad	Mejora
12	13	VS San Martin (Independencia - Ocarrol)	1	1
37	38	VN Astorga (Caceres - Mujica)	1	1
38	39	VN Astorga (Mujica - Cuevas)	1	1
49	50	VS Astorga (Cuevas - Independencia)	2	1
76	77	VN Estado (Independencia - Ocarrol)	8	3
77	78	VN Estado (Ocarrol - Gamero)	3	1
83	84	VS Estado (Ocarrol - Gamero)	2	1
94	95	VN Alcazar (Riesco - Ocarrol)	2	1
95	96	VN Alcazar (Ocarrol - Gamero)	5	2
96	97	VN Alcazar (Gamero - Ibieta)	2	1
97	98	VN Alcazar (Ibieta - Millan)	2	1
109	110	VN Almarza (Caceres - Mujica)	1	1
110	111	VN Almarza(Mujica - Cuevas)	3	1
123	122	VS Almarza (Mujica - Cuevas)	2	1
122	121	VS Almarza (Cuevas - Riesco)	2	1
141	142	VS Zañartu (Cáceres - Mujica)	1	1
71	72	VN Alameda (Campos - Estado)	8	3
89	90	VN Alameda (Estado - Alcazar)	3	1

34	37	VS Caceres (Bueras – Astorga)	8	3
88	91	VS Caceres (Estado – Alcazar)	2	1
142	145	VS Caceres (Zañartu – Freire)	5	2
69	74	VS Mujica (Campos – Estado)	2	1
141	146	VS Mujica (Zañartu – Freire)	3	1
14	21	VS Cuevas (San Martin – Bueras)	5	2
68	75	VS Cuevas (Campos – Estado)	5	2
104	111	VS Cuevas (Alcazar – Almarza)	6	2
31	40	VS Independencia (Bueras – Astorga)	2	1
67	76	VS Independencia (Campos – Estado)	8	3
85	94	VS Independencia (Estado – Alcazar)	2	1
103	112	VS Independencia (Alcazar – Almarza)	9	3
30	41	VS Ocarrol (Bueras – Astorga)	1	1
30	41	VS Ocarrol (Bueras – Astorga)	7	2
66	77	VS Ocarrol (Campos – Estado)	1	1
84	95	VS Ocarrol (Estado – Alcazar)	2	3
102	113	VS Ocarrol (Alcazar – Almarza)	5	2
120	131	VS Ocarrol (Almarza – Zañartu)	1	1

138	149	VS Ocarrol (Zañartu - Freire)	1	1
60	47	VS Gamero (Astorga - Campos)	2	1
65	78	VS Gamero (Campos - Estado)	2	1
83	96	VS Gamero (Estado - Alcazar)	1	2
101	114	VS Gamero (Alcazar - Almarza)	3	1
119	132	VS Gamero (Almarza - Zañartu)	1	2
46	61	VS Ibieta (Astorga - Campos)	1	1
64	79	VS Ibieta (Campos - Estado)	7	2
100	115	VS Ibieta (Alcazar - Almarza)	1	1
118	133	VS Ibieta (Almarza - Zañartu)	3	1
117	134	VN Millan (Almarza - Zañartu)	1	1
118	119	VS Almarza (Gamero - Ibieta)	1	2
117	118	VS Almarza (Ibieta - Millan)	1	1
86	93	VS Cuevas (Estado - Alcazar)	1	1
150	137	VS Gamero (Zañartu - Freire)	1	1
97	82	VS Ibieta (Estado - Alcazar)	2	1
62	45	VN Millan (Astorga - Campos)	1	1
42	29	VS Gamero (Bueras - Astorga)	1	2
10	11	VS San Martin (Gamero - Ibieta)	2	1

132	133	VN Zañartu (Gamero - Ibieta)	1	1
147	148	VN Freire (Cuevas - Riesco)	1	1
145	146	VN Freire (Mujica - Cuevas)	1	1
144	145	VN Freire (Alameda - Caceres)	1	1
143	144	VN Alameda (Zañartu - Freire)	1	1
69	70	VS Campos (Caceres - Mujica)	3	1
51	52	VS Astorga (Caceres - Mujica)	1	2
105	110	VS Mujica (Alcazar - Almarza)	1	1
85	86	VS Estado (Cuevas - Independencia)	1	2
119	120	VS Almarza (Ocarrol - Gamero)	1	1
131	132	VN Zañartu (Ocarrol - Gamero)	1	2
130	131	VN Zañartu (Independencia - Ocarrol)	1	1
41	42	VN Astorga (Ocarrol - Gamero)	1	1
20	21	VN Bueras (Mujica - Cuevas)	1	1
40	41	VN Astorga (Independencia - Ocarrol)	1	1

Tabla 5. Intervenciones en categoría densidad de arbolado. Elaboración propia