



Análisis y Optimización de Rutas de Lectura de Medidores para la Empresa Eléctrica Regional Centrosur

Autor

Raúl Xavier Romero Verdugo

Director

Dr. Daniel Orellana Vintimilla

Universidad de Azuay

Maestría en Geomática con mención en Ordenamiento Territorial

Cuenca, Ecuador

rxrvrxrv@gmail.com

[2014](#)

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo principal analizar y optimizar las rutas recorridas por el personal contratado de la dirección de comercialización de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur para la toma de lecturas de los medidores de energía eléctrica de cada uno de los clientes en el sector de Narancay de la Ciudad de Cuenca.

Este problema es un caso específico del “Problema del Vendedor Viajero” (T.S.P. “Travelling Salesman Problem”) cuya finalidad es encontrar una ruta que, iniciando y terminando en un lugar específico, pase una sola vez por cada uno de los lugares posteriores y minimice la distancia física y ponderada recorrida por el viajante.

La información base para el análisis es extraída de la base de datos del Sistema Comercial SICO y del Sistema de Información Geográfica de la empresa; esto servirá de insumo para elaborar dos modelos de red peatonal que simularía el recorrido del lector a través de las aceras, pasos peatonales, puentes y cruces de vías. Para automatizar el cruce de las vías se ha elaborado dos métodos: El primer método supone que el peatón pueda cruzar la calle cada 10 metros a partir de las aceras y esquinas de las manzanas hasta la acera opuesta; y el segundo método consiste en cruzar la calle a través de la generación una cuadrícula ortogonal en toda el área de estudio con un tamaño de 10 metros cuadrados por segmento y extraer de ella las líneas generadas entre las aceras, es decir la que se intersecte con las calles.

Para el cálculo de optimización de rutas se utilizó el algoritmo heurístico de Dijkstra que resuelve el problema del vendedor viajero, apoyados de las herramientas de software como ArcGis 10.1 y la plataforma de datos geográficos Open Street Map. Posteriormente se comparan los resultados de la ruta recorrida versus la ruta calculada como óptima con el algoritmo Dijkstra, en cuanto a su distancia, tiempo y costo.

Finalmente se configurará un modelo V.R.P. (Vehicle Routing Problem) para calcular las nuevas rutas generadas basadas en horarios del personal (entrada, salida, tiempos de descanso), tiempos de servicio o lectura, tiempos de traslado del personal, puntos de inicio y fin de las rutas. La información resultante servirá como base para que la Dirección Comercial de la empresa tome decisiones con el fin de mejorar el proceso actual.

Palabras Clave

TSP, VRP, Dijkstra, Peonato, Redes, optimización de rutas.

ABSTRACT

This paper mainly aims to analyze and optimize the meter reading routing of electricity consumption for each customer in the sector of *Naranca*, Cuenca carried out by the staff hired by the marketing department of *Empresa Eléctrica Regional Centrosur*, a local electricity provider.

This is a particular case of the "Traveling Salesman Problem" (TSP) whose purpose is to find a route that, starting and ending at a specific place, passes once for each of the subsequent locations, minimizing the physical and weighted distance traveled by the traveler.

The base data for analysis is extracted from SICO Commercial System database, and from the company's Geographic Information System. This will serve as input to develop two models of pedestrian network to simulate the reader's path through the sidewalks, walkways, bridges and highway crossings. In order to automate roads crossing two methods were developed: The first method assumes that pedestrians can cross the road every 10 meters from sidewalks and block corners to the opposite side; and the second method is to cross the street by generating an orthogonal grid throughout the study area measuring 10 square meters per segment, so as to extract from it the lines produced between sidewalks, which means the ones that intersect the streets.

For the calculation of route optimization we used the Dijkstra algorithm heuristic approach which solves the traveling salesman problem supported by ArcGIS 10.1 software tools and Open StreetMap Geographic database. Subsequently, the results of the route traveled versus the route calculated as optimal by means of Dijkstra algorithm are compared in terms of distance, time and cost.

Finally, a VRP (Vehicle Routing Problem) model is configured to calculate new generated routes based on staff schedules (input, output, rest periods), service or reading times, staff travel time, and start and end routes points. The resulting information will serve as basis for the Commercial Division of the company in order to make decisions to improve the current process.

Keywords: TSP, VRP, Dijkstra, Pedestrian, Networks, route optimization



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a Dios, a mi amada esposa Ligia y a mis hijas queridas Emily y Melany.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme salud y vida para llegar a concluir este trabajo.

A mi familia por su constante apoyo y por la paciencia brindada en especial a mi esposa Ligia y mis queridas hijas Emily y Melany.

De manera especial quiero agradecer al Dr. Daniel Orellana por toda la paciencia, por su don de gentes y por compartir desinteresadamente su tiempo y conocimiento con mi persona para llegar a escalar esta etapa más en mi vida profesional.

A la Empresa Eléctrica Regional Centrosur por su constante apoyo.

A la Universidad del Azuay, al Director de la maestría Ing. Omar Delgado, a todos los docentes que fueron los que nos encaminaron y motivaron para emprender este reto y a mis compañeros de curso que de ellos he aprendido mucho.

Índice de contenidos

Autor.....	i
Director.....	i
Resumen.....	ii
Palabras Clave.....	ii
Abstract.....	iii
Keywords.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	vii
1. Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Trabajos relacionados.....	3
2. Materiales y Métodos.....	5
Área de Estudio.....	5
Datos.....	7
Software y Hardware.....	7
Generación de redes peatonales.....	8
Análisis de redes.....	16
Creación de una capa con las rutas originales.....	16
Creación de una capa con las rutas originales optimizadas.....	16
Generación de nuevas rutas óptimas.....	16
3. Resultados:.....	18
Generación de redes.....	18
Rutas existentes.....	19
Optimización de Rutas existentes.....	19
Generación de nuevas rutas óptimas.....	23

Análisis de problema de generación de rutas para vehículos (V.R.P. – Vehicle Routing Problem)	24
4. Conclusiones:	27
Trabajos futuros:	27
5. Referencias bibliográficas:.....	28
6. Anexos	30
Anexo Nro. 1	30
Parámetros para el cálculo de ruta original	30
Anexo Nro. 2	31
Parámetros para el cálculo de las rutas óptimas.....	31
Anexo Nro. 3	32
Parámetros para la creación de nuevas rutas óptimas a partir de paradas	32

Índice de figuras

Figura 1.- Área de estudio.....	5
Figura 2.- Mapa general del área de estudio.....	6
Figura 3.- <i>Método 1</i> : Generar automáticamente líneas perpendiculares desde cada acera y esquina cada cierta distancia hasta la acera opuesta.	10
Figura 4.- <i>Método 2</i> : Generar una cuadrícula ortogonal de un determinado tamaño y extraer de ella las líneas generadas entre las aceras, es decir la que se interseque con las calles.	11
Figura 5.- Proceso de asignación automática de pesos para el método 1 y 2.	13
Figura 6.- Proceso de generación de una geodatabase para los métodos 1 y 2... ..	15
Figura 7.- Redes peatonales generadas: Método 1.- Perpendiculares a las manzanas cada 10 metros y Método 2.- Cuadrícula ortogonal con celdas de 10 X 10 metros.	18
Figura 8.- Rutas existentes trazadas sobre la red de perpendiculares: Método 1 (izquierda) y red con cuadrícula ortogonal Método 2 (derecha).	19
Figura 9.- Rutas óptimas generadas a partir de la red de perpendiculares: Método 1 (izquierda) y red con cuadrícula ortogonal Método 2 (derecha).	20
Figura 10.- Método 1: Comparación entre rutas originales y óptimas en cuanto a tiempo y distancia.....	21
Figura 11.- Método 2: Comparación entre rutas originales y óptimas en cuanto a tiempo y distancia.....	22
Figura 12.- VRP: Nuevas rutas óptimas para la red basada en los dos métodos tanto para perpendiculares como para cuadrícula	23
Figura 13.- Comparación en tiempo y distancia para los dos métodos.	26

Índice de tablas

Tabla 1.- Valores de los costos para cada tipo de elemento de la red.	12
Tabla 2.- Rutas de lectura dentro del área de estudio.....	14
Tabla 3.- Resultado aplicación de V.R.P para el método 1.	24
Tabla 4.- Resultado aplicación de V.R.P para el método 2.	25
Tabla 5.- Diferencia entre los métodos en cuanto a costo, distancia y tiempo.	25

1. Introducción

El departamento de facturación de la dirección de comercialización de la Empresa Eléctrica Centrosur establece contratos con compañías para el levantamiento de información correspondiente a la lectura mensual de los medidores de energía eléctrica de cada uno de sus clientes. Cada una de estas compañías tienen personal a su cargo y estas personas realizan recorridos en base a la información entregada por la Empresa como son: cartografía del sector e información básica del cliente como código, número de medidor, dirección, secuencia del inmueble, etc. Con esta información realizan recorridos una vez por mes por cada uno de los sectores asignados, lo realizan mediante dispositivos móviles handheld o smart phones los cuales cuentan con enlaces dedicados y realizan el ingreso de las lecturas en línea hacia los servidores de la Empresa mediante un software que realiza consumos a servicios web del Sistema Comercial SICO para posteriormente calcular los valores correspondientes a facturarse.

La metodología usada actualmente por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur para la creación y ordenamiento de las rutas para lectura de los medidores es realizada de forma manual a través de su sistema comercial en el proceso de la creación de un nuevo cliente, en el cual se solicita al cliente traer el código de los vecinos más próximos. La finalidad de este método es que el nuevo cliente sea ubicado geográficamente en la mitad de los dos vecinos, para ello cada cliente cuenta con un número de secuencia de su inmueble asignado dentro de una ruta de un determinado sector del área de concesión, por ejemplo: una persona residente del sector Narancay cuya ruta es la "01-01-10-24" solicita un nuevo servicio, para ello es requisito pedir el código de sus dos vecinos colindantes; el vecino de lado derecho tiene el código de servicio 3752672 con una secuencia del inmueble de 500 y el vecino de lado izquierdo tiene el código de servicio 187623 con una secuencia del inmueble 1000, por ende al cliente se le asigna un nuevo código y se coloca la secuencia 750, la fórmula a aplicar es:

$(\text{Secuencia del inmueble del vecino izquierdo} + \text{Secuencia del inmueble del vecino derecho}) / 2$

En este caso sería:

$$(1000 + 500) / 2 = 750.$$

Esta forma de asignar las rutas para las lecturas causa retrasos en la entrega de información de lecturas levantadas por parte de las contratistas, ya que no está diseñada para optimizar el tiempo ni la distancia de recorrido por parte de las personas que realizan las lecturas. Es necesario, por lo tanto, crear un sistema

para optimizar las rutas recorridas por el personal que realiza las lecturas, de manera que se puedan mejorar los tiempos de recorrido, disminuir las distancias, y contar con información adecuada y a tiempo.

Este problema es un caso específico del “problema del vendedor viajero” (T.S.P. “Travelling Salesman Problem”), cuya finalidad es encontrar una ruta que, iniciando y terminando en un lugar específico, pase una sola vez por cada uno de los lugares posteriores y minimice la distancia física o ponderada recorrida por el viajante. Aunque el enunciado de este problema es relativamente sencillo, la formulación matemática y su implementación es más compleja.

Existen varias metodologías y algoritmos enfocados a resolver este problema que está presente en redes de transporte (vehículos) y redes geométricas (electricidad, agua potable, etc.), entre ellos: algoritmo de Dijkstra (Dijkstra Edsger Wybe, 1959), algoritmo de “colonia de hormigas” (Dorigo Marco, 1992) y otros algoritmos heurísticos.

Las metodologías para resolver los problemas en redes de transporte dedican esfuerzos a brindar herramientas para encontrar la ruta más corta entre dos puntos, zonas de asistencia a clientes, zonas de auxilio, determinación de rutas, etc. Las redes de transporte son representadas por vías, intersecciones, barreras, semáforos, sentidos y giros. Sin embargo el problema principal en la aplicación de estas metodologías a las rutas peatonales radica en que el peatón no camina todo el tiempo por las calles, avenidas o puentes, sino a través de las aceras, puentes y pasos peatonales o lugares construidos propiamente para estos fines.

Otro de los problemas es que no existen programas desarrollados específicamente para resolver conflictos de redes peatonales ya que su objetivo es resolver problemas en redes de transporte para vehículos y redes geométricas.

Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es optimizar y mejorar el tiempo para completar el recorrido de las rutas para la lectura de los medidores de energía eléctrica de los clientes regulados de la “Empresa Eléctrica Centrosur”, apoyados en herramientas de análisis de redes basadas en metodologías y algoritmos heurísticos para encontrar la ruta corta más óptima. Los objetivos específicos planteados son:

- Investigar metodologías, teorías y fundamentos para determinar rutas que sean más rápidas, menos distantes y de menor costo.

- Comparar los resultados de las metodologías de creación de red peatonal para optimizar las rutas de lectura de los medidores.
- Aplicar la o las metodologías seleccionadas para determinar rutas que sean más rápidas, menos distantes y de menor costo en el área de estudio ubicada en el sector de Narancay.

Trabajos relacionados

Se han realizado algunos estudios en cuanto al análisis y optimización de rutas, como por ejemplo: la búsqueda de soluciones logísticas para ruteo de vehículos apoyados en herramientas como Excel permiten modelar fácilmente el problema, sin embargo presentan ciertas limitantes y dificultades para buscar la solución al momento de ingresar varias restricciones (Cruz, Restrepo y Medina, 2007). Además, este enfoque no incluye la variable espacial de forma explícita. Otro enfoque relacionado es el que se le da a la creación de modelos de optimización por colonia de hormigas (Ant Colony Optimization, ACO) mediante una metaheurística inspirada en el comportamiento de las colonias de hormigas, que sirve para resolver problemas computacionales que pueden reducirse a buscar los mejores caminos, en este estudio se lo aplicó para optimizar los recorridos para la recolección de residuos por contenedores, lo que posibilita la generación de mejoras en las distancias totales de recolección, disminución de gasto en combustible, mantención y en general, una mejor utilización de los recursos disponibles (Salazar y Ruiz, 2009). Así también, la creación de un sistema de decisiones a partir del diseño de un algoritmo de optimización híbrido usando una heurística constructiva y una de inserción propia del VRP “Vehicle Routing Problem” y su implementación en un módulo de software utilizando una aplicación GIS (Geographic Information System) y un lenguaje de programación orientado a objetos, se resuelve el problema de vehículos aplicado a las rutas de buses escolares lo que brinda una gran oportunidad de desarrollo de productos orientados a la georeferenciación local y regional, incluso se aplicarlo a nivel industrial lo que permitirá agilidad a los procesos manuales (Arias, Díaz y Lamos, 2012). También se ha trabajado en la resolución de problemas de ruteo de vehículos con limitaciones de capacidad y flota homogénea utilizando procedimientos metaheurísticos para diseño de rutas y planificación de flotas, los cuales tienen por objetivo minimizar el costo fijo por capacidad usada con resultados buenos en cuanto al tiempo computacional que se ha reducido considerablemente, se ha optimizado el número de camiones y se redujo el costo fijo de la capacidad instalada, esto permite mejorar la planeación y asignación de rutas de transporte en las empresas de carga y mensajería (Daza, Montoya y Narducci, 2009).

La mayor parte de trabajos e investigaciones en el campo del análisis de rutas se concentran en proveer de herramientas para resolver problemas de ruteo de vehículos en redes de transporte compuestas, como hemos visto, principalmente por ejes viales; éstas no son adecuadas por lo tanto, para resolver de forma automática la creación de redes peatonales que permitan simular el comportamiento de las personas recorriendo los espacios dedicados al peatón, tales como aceras o pasos peatonales. De hecho, la definición misma de “red”, como una estructura topológica compuesta por ejes y nodos, no es fácilmente aplicable para espacios peatonales, pues las aceras no están conectadas directamente unas con otras, y por lo tanto, los algoritmos de ruteo, tales como “Dijkstra” no pueden ser aplicados directamente. Esta carencia es la principal motivación para el presente trabajo que busca desarrollar varias metodologías para la creación automática de estas redes peatonales y mediante la comparación de resultados de las mismas, proveer una herramienta para que sea aplicable en Cuenca y otras ciudades.

2. Materiales y Métodos

Área de Estudio

Para la presente investigación se ha realizado un piloto en un área de estudio específica: el sector “Narancay” (Figura 1), que se encuentra ubicada al sector sur oeste de la ciudad Cuenca Ecuador (Figura 2). Se ha seleccionado este sector ya que se cuenta con información levantada por el proyecto “Modelos de Densificación Territorial de las Zonas Urbanas de Cuenca”, realizado por el grupo “Ciudades Sustentables” del Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población de la Universidad de Cuenca.

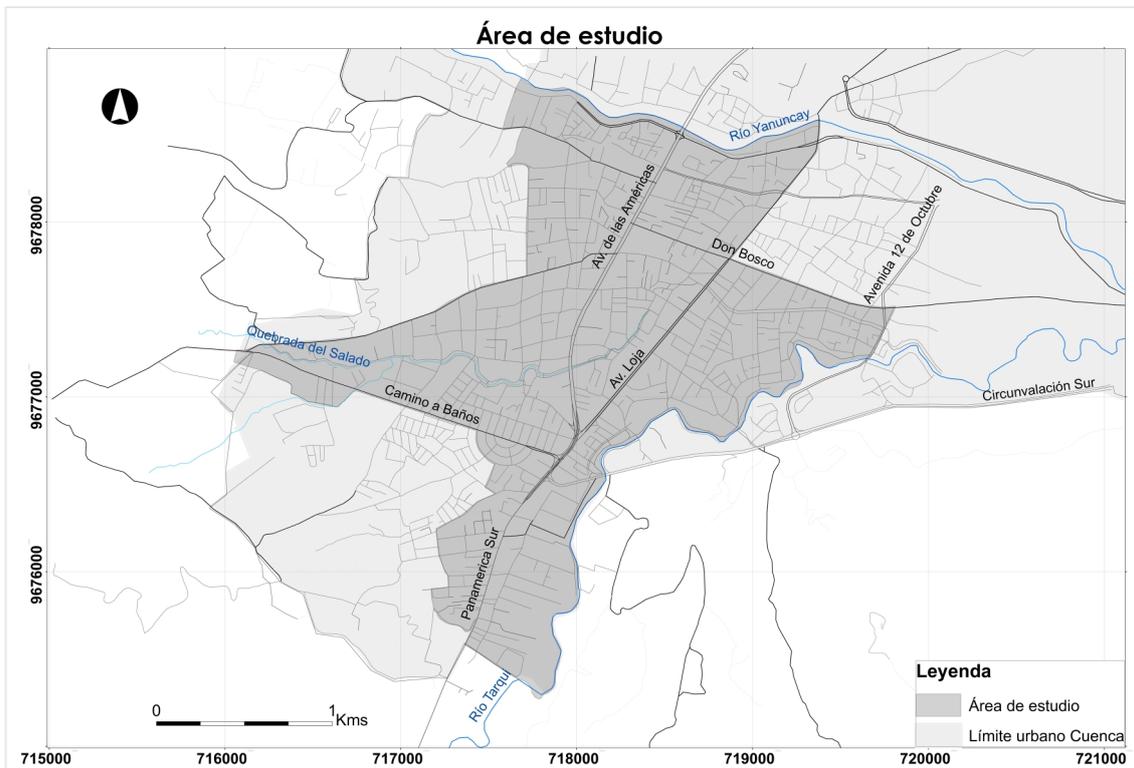


Figura 1.- Área de estudio.

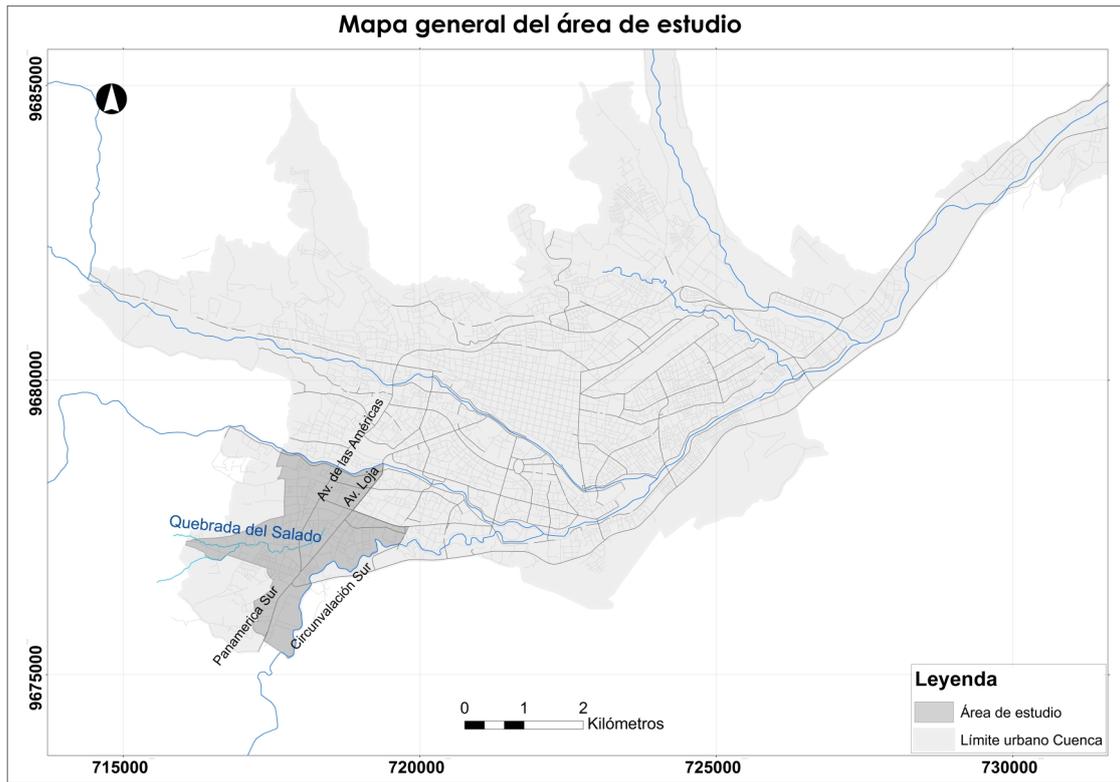


Figura 2.- Mapa general del área de estudio.

Datos

Las fuentes originales de la información geográfica necesaria para la ejecución de las metodologías de este estudio han sido obtenidas de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur como son los puntos de carga (conjunto de medidores ubicados en un mismo punto geográfico, como por ejemplo un edificio) y manzanas, lo correspondiente a pasos peatonales, puentes y calles provienen de una plataforma de datos geográficos abierta llamada Open Street Map (<http://www.openstreetmap.org/>).

Fue necesario realizar un trabajo de levantamiento de información en campo con dispositivos móviles y GPS para recolectar información inexistente o incompleta, tales como los pasos peatonales y puentes, también información por actualizar como la de calles y manzanas. Luego se estructuró la información levantada para asignar las características observadas, control de la calidad de los datos y una correcta depuración de los mismos.

Mediante el uso de la herramienta de código abierto JOSM, posterior al levantamiento de información, se realizó la edición y subida de datos a la plataforma de Open Street Map de manera que estén disponibles para nuevas investigaciones y para el público en general. Para trabajar con la información cargada y que se encuentra actualizada, fue necesario instalar un complemento dentro del software "ArcGis 10,1" llamado "OpenStreetMap Editor, cuya herramienta "Download, Extract and Symbolize OSM Data" permite descargar y transformar la información a un formato compatible, como un "Feature DataSet" en una geodatabase de ESRI.

Software y Hardware

Para realizar el levantamiento de información en campo se utilizó un dispositivo móvil con las siguientes características:

- Marca: Samsung Galaxy S3 GT-I9300.
- Memoria RAM: 831 MB
- Procesador: ARM v7 Processor rev 0 (v7l)
- Máxima frecuencia CPU: 1400 Mhz.
- Núcleos CPU: 4.
- Cámara Principal: 8 Megapíxeles.
- Sistema Operativo: Android 4.3

Para la elaboración de los modelos, análisis y procesamiento de información se utilizó un computador con las siguientes características:

- Marca: Lenovo ThinkPad
- Procesador: Intel(R) Core(TM) i5-3320 M CPU @ 2.6 Ghz
- Memoria RAM: 8 Gb
- Disco Duro: 300 Gb
- Sistema Operativo: Windows 7 Professional de 64 bits Service Pack 1.

El software para el levantamiento de información, elaboración de modelos, análisis y procesamiento de información es el siguiente:

- Levantamiento de información en dispositivo móvil: OSM Tracker para Android TM versión 6.6.
- Edición y depuración de información levantada: JOSM Java OpenStreetMap Editor versión 6238, Java versión 1.7.0_55.
- Sistema para elaboración de modelos y análisis: ArcGis 10.1 (ArcMap, ArcCatalog, Modelo Builder, Network Analyst, Python 2.7.2).
- Complementos ArcGis 10.1:
 - Dice Up Polyline (<http://nodedangles.wordpress.com/>).
 - Create Perpendicular Lines (Gabrisch, Gerry, 2008).
 - OpenStreetMap Toolbox (<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=6a2a3c3cece749558393d4e80241ef51>).

Generación de redes peatonales

Se determinó que la información primaria y secundaria levantada no era suficiente para reflejar la estructura por la que circula un peatón, por este motivo, durante esta investigación surgieron las algunas interrogantes a las cuales fue necesario dar respuesta:

- *¿Por qué elementos del espacio circula un peatón?*
El peatón circula principalmente por las aceras.
- *¿Los peatones pueden cruzar la calle al realizar una ruta?*
Sí, los peatones pueden cruzar una calle para llegar a la acera del frente. El peatón preferirá cruzar por pasos cebra en calles altamente transitadas, pero por una calle angosta o poco transitada lo hace en cualquier parte.
- *¿Los parterres pueden ser atravesados?*
Sí, por lo general los parterres pueden ser atravesados por los peatones.
- *¿Dónde están situados los medidores de energía eléctrica con relación a otros elementos espaciales?*

Los medidores de energía eléctrica están situados al borde las aceras.

- *¿Cómo representar las aceras?*

Las aceras no se encuentran representadas en la información obtenida, por lo que es necesario levantar estos datos o buscar una solución.

Al no contar con información de las aceras y tomando en cuenta lo costoso que sería levantar esta información, se vio la necesidad de crear un método para generar automáticamente los elementos espaciales que representen las aceras. Para esto, se partió de una capa de información de manzanas cuyos bordes pueden servir para representar las aceras, para lo cual se transformó la capa de polígonos de manzanas a una capa de líneas que representan las aceras.

En este punto surge una nueva dificultad, pues las líneas que representan las aceras sólo están unidas dentro de una misma manzana y no entre manzanas. Para generar una red con topología completa útil para la aplicación de algoritmos de ruteo, es indispensable que todas las líneas estén unidas entre sí. Por lo tanto fue necesario crear uniones entre las aceras de distintas manzanas que simularían los cruces que haría normalmente un peatón.

Para crear estas uniones en la red se investigaron varias soluciones, entre ellas se implementaron las siguientes (Figura 3 y Figura 4):

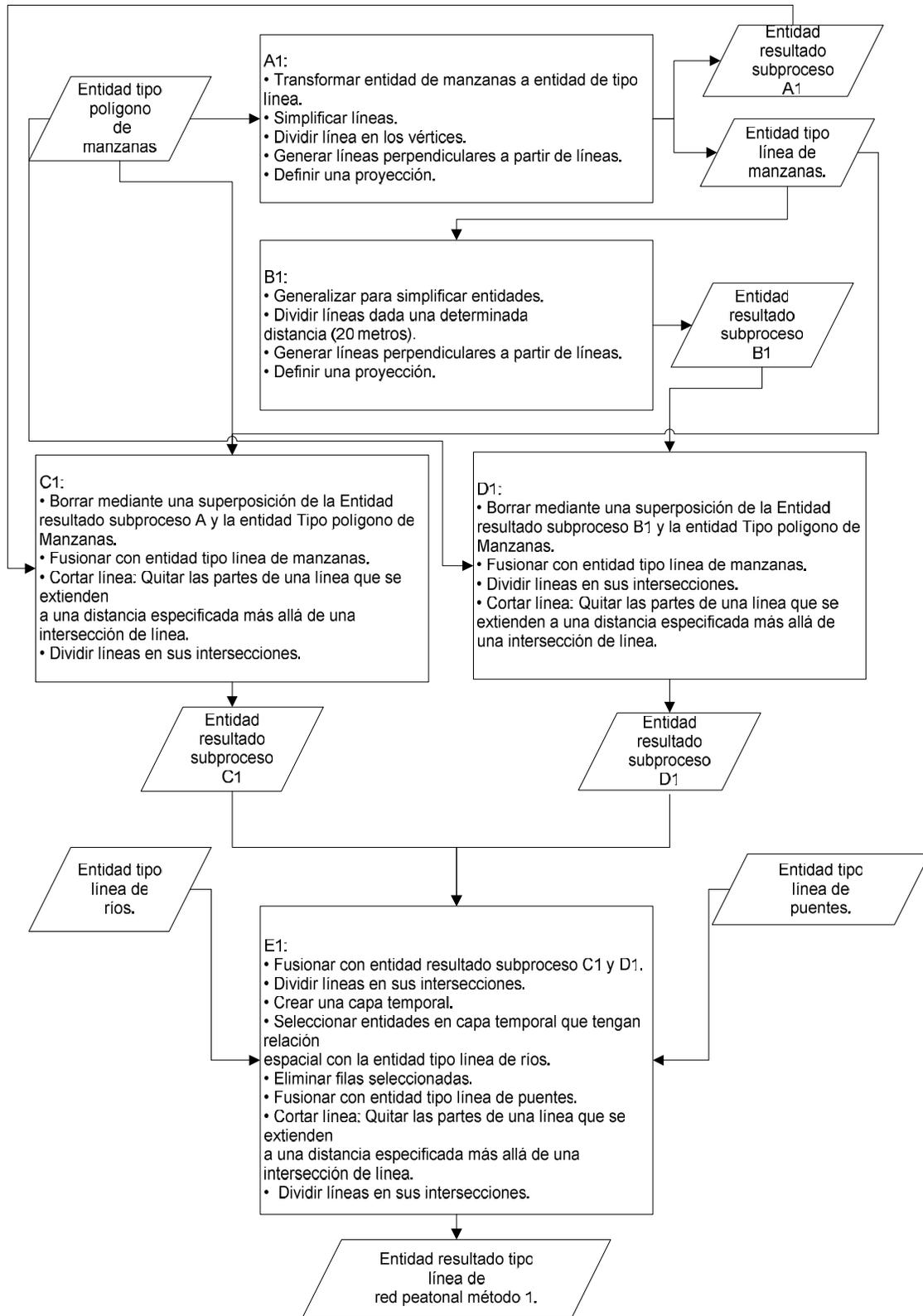


Figura 3.- *Método 1*: Generar automáticamente líneas perpendiculares desde cada acera y esquina cada cierta distancia hasta la acera opuesta.

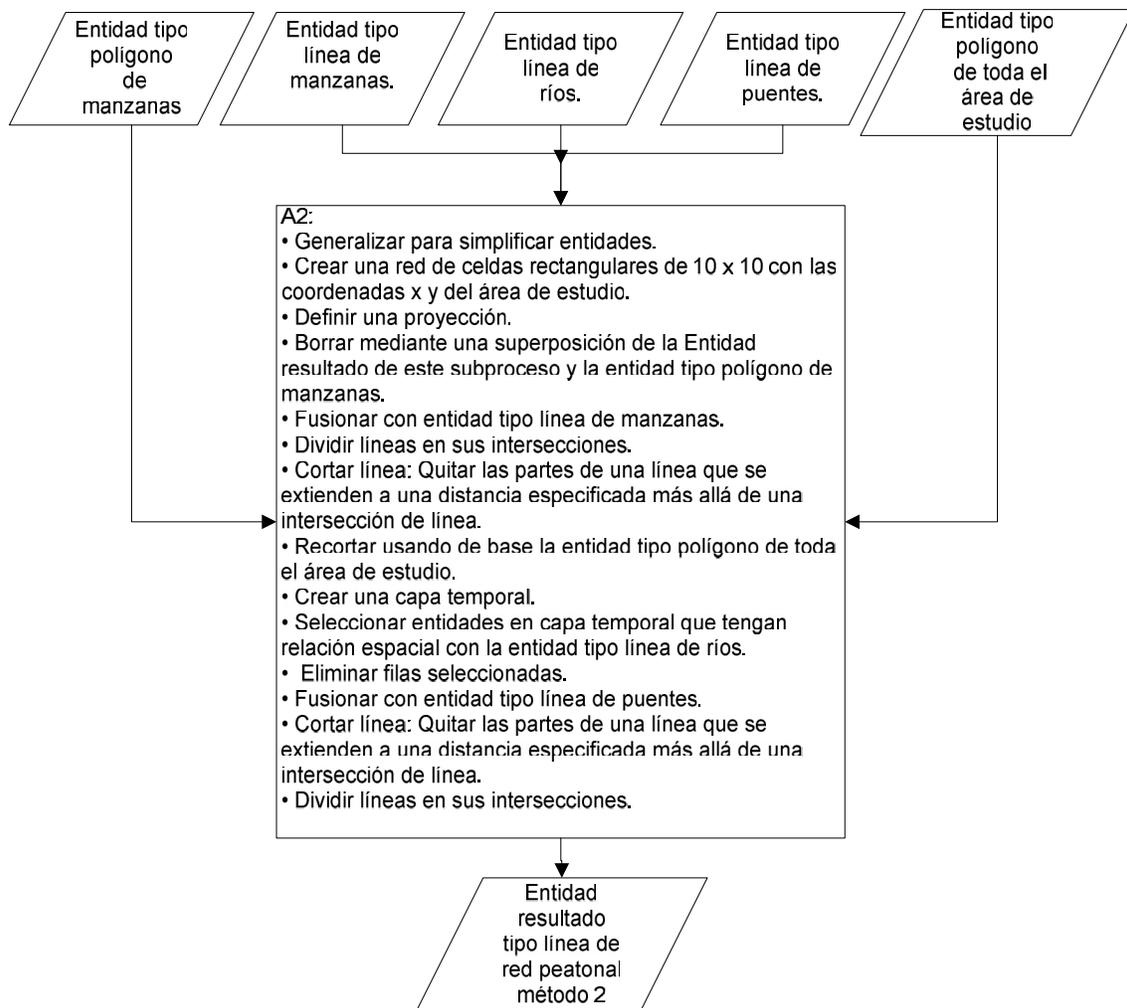


Figura 4.- *Método 2*: Generar una cuadrícula ortogonal de un determinado tamaño y extraer de ella las líneas generadas entre las aceras, es decir la que se intersece con las calles.

El método 1 representa mejor el comportamiento real del peatón, sin embargo es un proceso complejo de diseñar comparándolo con el método 2, debido a que las no todas las manzanas son polígonos regulares. Para el modelamiento de los dos métodos se usó la herramienta Model Builder del software ArcGis 10.1 y se usó scripts en “Phyton” para su automatización.

El primer paso fue diseñar un modelo para obtener la red peatonal con topología completa para cada método considerando todos los aspectos antes mencionados.

Posteriormente se asignaron valores que representen el costo de moverse por cada segmento de la red según sus propiedades (Tabla 1 y Figura 5).

Tabla 1.- Valores de los costos para cada tipo de elemento de la red.

TIPO	COSTO
PASOS CEBRA	1
PUENTE	1
ACERA	1
PASAJES	2
RETORNO	3
CALLES	4
AVENIDAS	5

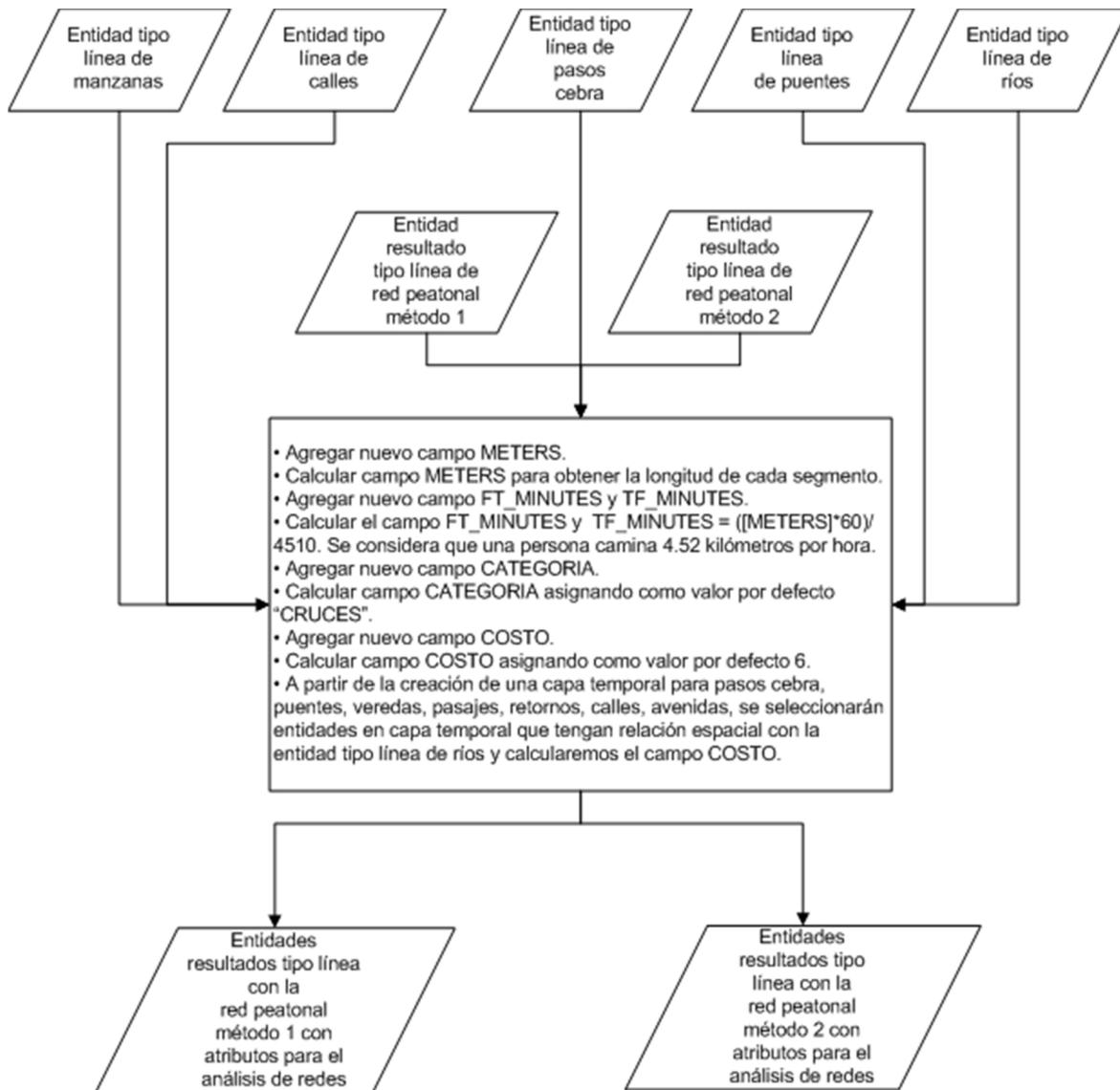


Figura 5.- Proceso de asignación automática de pesos para el método 1 y 2.

Como puede verse, estos costos son más altos para aquellos elementos de mayor dificultad de circulación para peatones. De esta manera, caminar por un metro de calle, representa un “costo” cuatro veces mayor que caminar por un metro de acera. De esta manera, el algoritmo de ruteo tomará en cuenta estos costos para establecer las rutas.

Otro inconveniente detectado fue que los puntos de carga que contienen la ubicación geográfica de uno o varios medidores de energía eléctrica se encontraban dentro de los predios, pero la realidad es que están ubicados cerca de la acera. Para esto, se generó un proceso de “snapping” con tolerancia máxima

de 75 metros que reubicó los puntos de carga al borde de las aceras más cercanas. Las tablas que contienen la información de los puntos de carga se encuentran categorizadas por rutas de lectura. Existen 20 rutas de lectura dentro del área de estudio con sus respectivas secuencias de recorrido o número de visita para cada uno de los puntos (Tabla 2).

Tabla 2.- Rutas de lectura dentro del área de estudio.

CODIGO	NOMBRE DE LA RUTA	CANTIDAD DE PUNTOS DE CARGA
1	01-01-13-14	286
2	01-01-14-10	278
3	01-01-15-18	275
4	01-01-14-11	240
5	01-01-13-26	229
6	01-01-13-25	228
7	01-01-13-28	228
8	01-01-13-24	201
9	01-01-31-39	198
10	01-01-13-27	187
11	01-01-13-18	183
12	01-01-14-9	168
13	01-01-13-20	162
14	01-01-13-19	143
15	01-01-13-23	138
16	01-01-13-16	357
17	01-01-15-17	343
18	01-01-13-22	256
19	01-01-14-12	176
20	01-01-14-4	170
TOTAL		4446

Los datos generados se almacenaron en un DataSet dentro de una base de datos geográfica que permita implementar los dos modelos diseñados. Cabe mencionar que las soluciones de enrutamiento del software Arcgis 10.1 están basadas en la aplicación de algoritmos de Dijkstra para buscar las trayectorias más cortas (Figura 6).

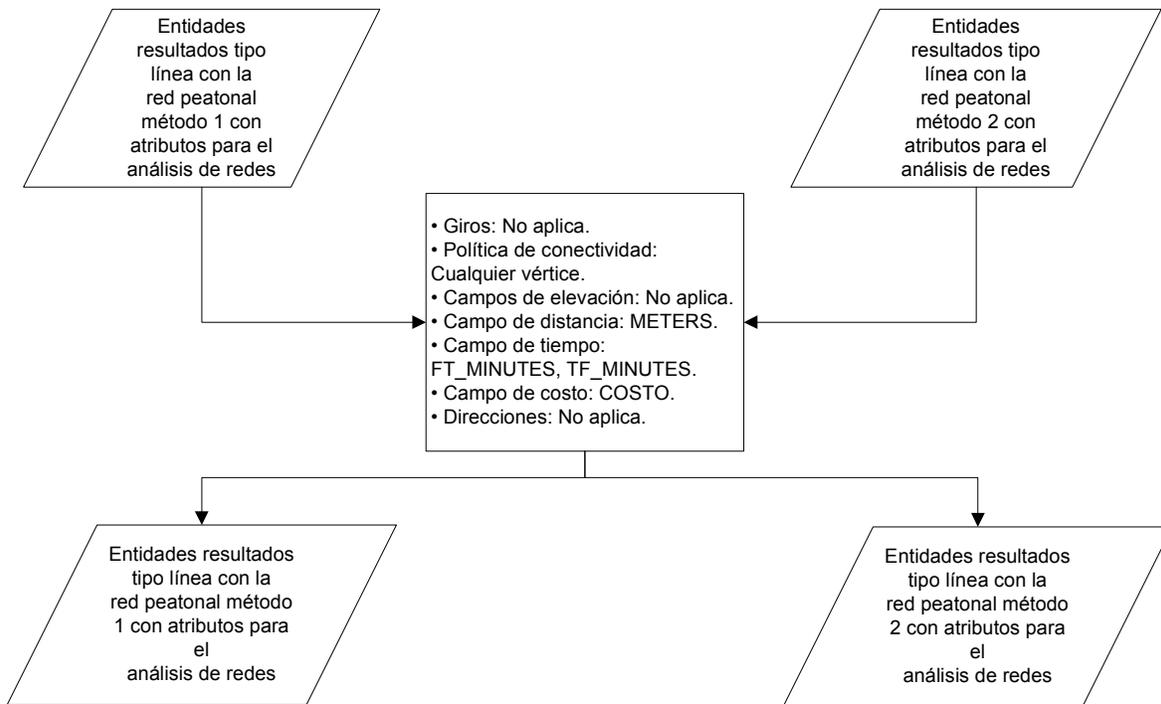


Figura 6.- Proceso de generación de una geodatabase para los métodos 1 y 2.

Una vez obtenida la red para cada uno de los métodos, se implementó el análisis de red para generar una capa que representa las rutas actuales (respetando el orden actual de lectura) y se registró los resultados para cada una de las rutas en cuanto a distancia, costo de recorrido y tiempo. Estos datos servirán luego como línea de base para evaluar los resultados de la optimización.

El siguiente paso fue encontrar las rutas de lectura óptimas a través del reordenamiento de las secuencias actuales mediante la aplicación del algoritmo de Dijkstra implementado en la herramienta Network Analyst de ArcGis, cuyo resultado es la optimización de cada una de las rutas actuales en cuanto a distancia, tiempo y costo.

Finalmente se generaron nuevas rutas de lectura considerando aspectos reales del personal como son: el horario de ingreso, horario de salida, tiempo para el descanso y el tiempo disponible al día, de manera que cada ruta pueda ser ejecutada en un solo día por una persona.

Análisis de redes

En esta instancia usaremos la información de los puntos de carga que contienen la información geográfica de uno o varios medidores para ser usados como paradas (Stops), cuya secuencia de la ruta de lectura actual servirá para realizar el ordenamiento inicial para el cálculo de las rutas originales, para la optimización serán resecuenciados y para la generación de las nuevas rutas optimizadas serán agrupados en diferentes rutas de lectura y resecuenciados mejorando los resultados en cuanto a tiempo, costo y distancia basados en nuevos criterios como horarios de trabajo, tiempos de descanso, etc.

Creación de una capa con las rutas originales

Mediante el uso de la extensión Network Analyst del software Arcgis 10.1 cuyo cálculo es basado en la aplicación de algoritmos de Dijkstra, procede a ejecutar el proceso para el cálculo de los valores de distancia, costo y tiempo de cada una de las rutas actuales para cada método. Para esto se mantuvo el orden original de los puntos de carga. La configuración detallada se encuentra en el apartado Anexo1.

Creación de una capa con las rutas originales optimizadas

Usando la misma extensión de Network Analyst procederemos a ejecutar el proceso de cálculo para encontrar la resecuenciación o reordenamiento de las secuencias o número de visita actuales permitiéndonos optimizar las rutas actuales por cada uno de los métodos. La configuración detallada se encuentra en el apartado Anexo 2.

Generación de nuevas rutas óptimas

Se realiza la carga de las paradas o puntos de carga al modelo para que en este paso sean asignados a nuevas rutas de lectura más óptimas en cuanto a tiempo, costo y distancia. Se aplicará el concepto de resolución de problemas para vehículos con sus siglas en inglés “VRP” (Vehicle Routing Problem) ya que las herramientas disponibles no son diseñadas para resolver ruteo de peatones sino de vehículos. En la actualidad estas herramientas son usadas para crear rutas de entrega de productos, rutas escolares, rutas para recolección de desechos, etc. En nuestro caso usaremos este concepto para aplicarlo sobre nuestras redes generadas a través de los dos modelos propuestos. El tiempo asignado como tiempo de servicio está basado en el promedio de todas las lecturas realizadas en una ruta en un mes específico, es aproximadamente 1 minuto por cada medidor ya que es importante mencionar que este tiempo incluye como máximo 3 intentos de envío de la lectura mediante un servicio web a los servidores de la Empresa y el tiempo que toma tomar la fotografía del medidor de ser necesario. Como se

mencionó anteriormente un punto de carga tiene uno o varios medidores por lo que se consideró este parámetro para ser multiplicado el tiempo de servicio por el número de medidores.

Se determinó que el tiempo promedio de arribo al lugar para comenzar la jornada de lecturas es de 30 minutos y el tiempo promedio para retorno a la empresa es el mismo, es decir 30 minutos. El tiempo para el descanso a media jornada es de 30 minutos. Se puede arrancar la jornada más temprano, es decir puede llegar antes al sitio de partida pero no puede llegar más tarde del inicio de jornada, es decir a las 8h30 cuya jornada finaliza a las 16h00.

El tiempo total de servicio de todas las rutas óptimas para toda el área de estudio es 164 horas es decir que se completaría el servicio en 21 días laborables de 7 horas cada uno, por ende se plantea la hipótesis de que se requiere 21 personas para que cada una pueda ejecutar una ruta en un día de 7 horas laborables. Por lo tanto crearemos 21 rutas con su respectiva configuración. Este proceso se realiza para las 21 rutas. Por consiguiente fue necesario generar 21 localizaciones que serán usadas como depósitos, en nuestro caso sería como punto de encuentro para iniciar y finalizar una ruta.

La configuración detallada se encuentra en el apartado Anexo 3.

3. Resultados:

Generación de redes

En la Figura 7 se presenta los resultados de los dos métodos de generación de la red peatonal. El tiempo aproximado de ejecución para el método 1 es 9 minutos y para el método 2 es 8 minutos. La red generada con el método 1 representa de mejor manera el comportamiento de un peatón al cruzar una calle desde cualquiera de sus tramos o desde las esquinas. El método 2 es una solución más sencilla de implementar pero no representa el comportamiento real de un peatón.

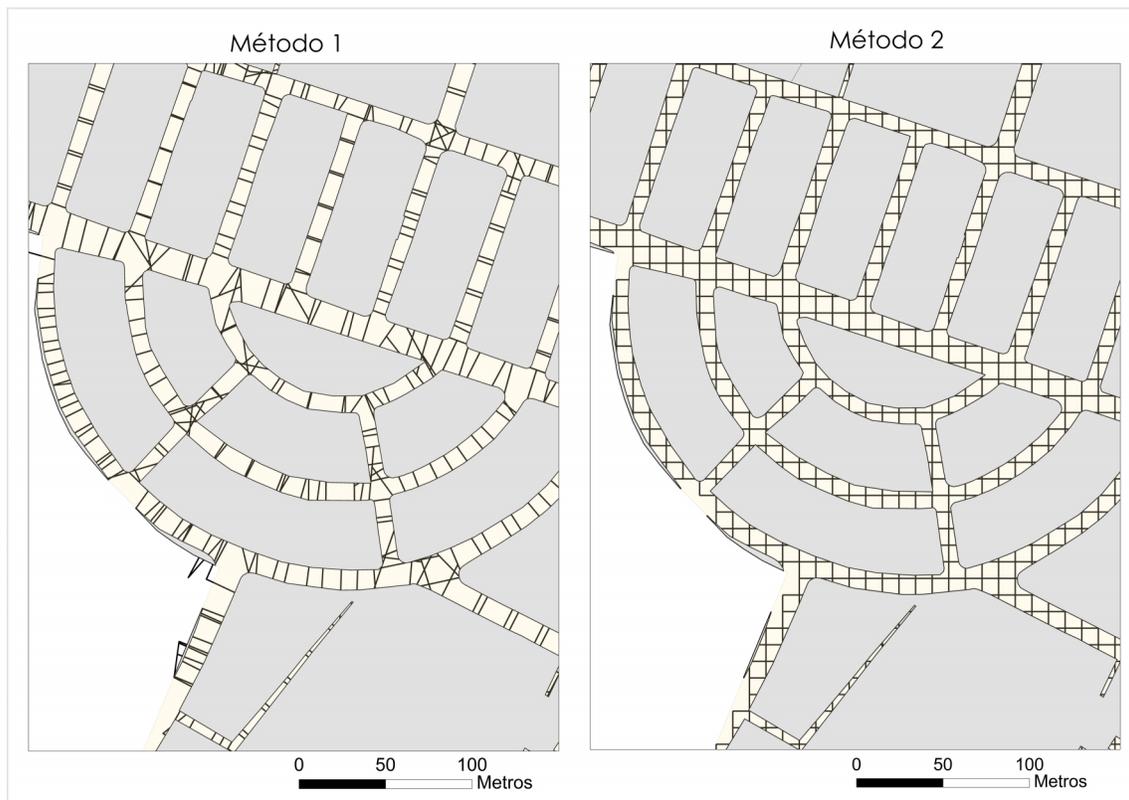


Figura 7.- Redes peatonales generadas: Método 1.- Perpendiculares a las manzanas cada 10 metros y Método 2.- Cuadrícula ortogonal con celdas de 10 X 10 metros.

Rutas existentes

Puede observarse en la Figura 8 el trazado de las rutas existentes sobre las dos redes generadas mediante los dos métodos en estudio:

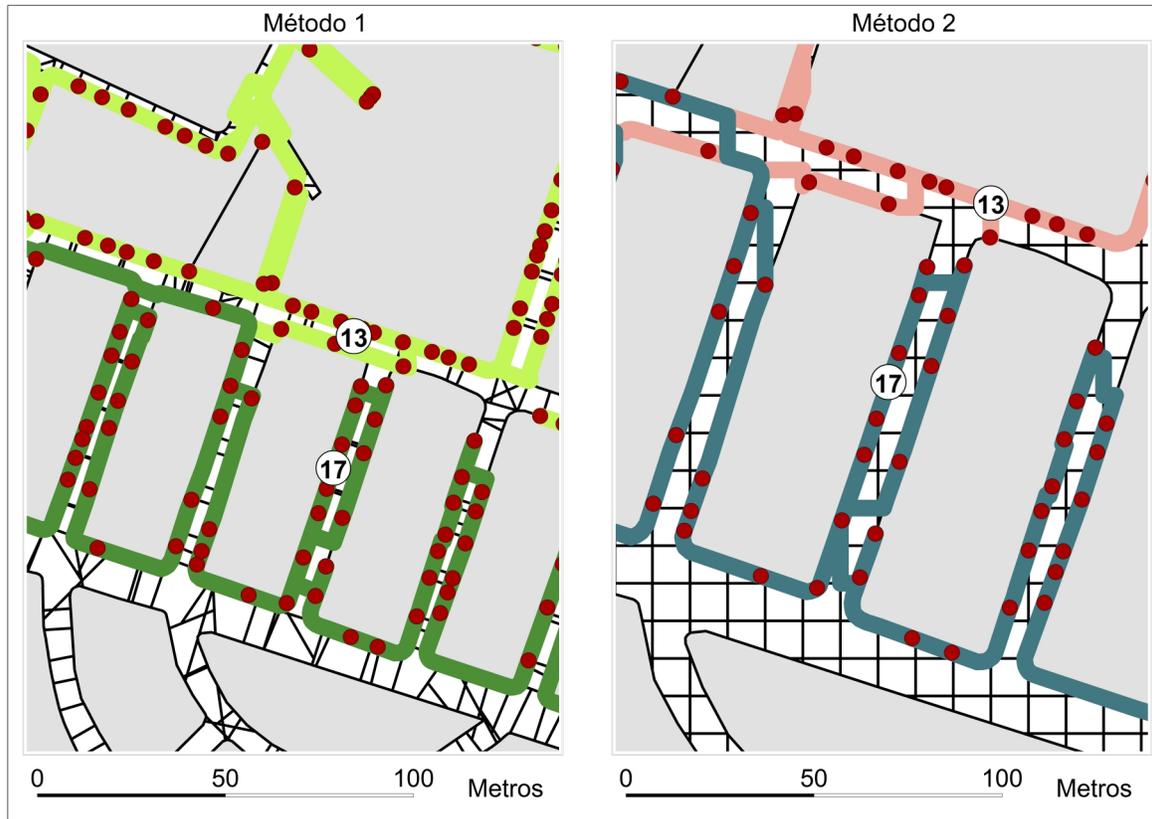


Figura 8.- Rutas existentes trazadas sobre la red de perpendiculares: Método 1 (izquierda) y red con cuadrícula ortogonal Método 2 (derecha).

Optimización de Rutas existentes

Las rutas generadas con cada uno de los métodos se pueden observar en la Figura 9. El tiempo de procesamiento para realizar el cálculo para las rutas originales en los dos métodos estudiados fue de 1 minuto y para realizar el cálculo de optimización sin tomar en cuenta las paradas iniciales ni las paradas finales tardó en el método 1: 9 minutos y para el método 2: 10 minutos, con una diferencia tan solo de 1 minuto.



Figura 9.- Rutas óptimas generadas a partir de la red de perpendiculares: Método 1 (izquierda) y red con cuadrícula ortogonal Método 2 (derecha).

El método 1 (red con cruces perpendiculares) optimiza un 38.79 % la distancia (58.82 kilómetros) y un 8.46 % el tiempo (13h02') con respecto a las rutas originales en el área de estudio. La Figura 10 muestra los resultados para las rutas individuales. El método 2 (red ortogonal) optimiza un 38.03 % de distancia (57.0 Km) y un 8.26 % de tiempo (12h43'). Los resultados para cada ruta se representan en la Figura 11.

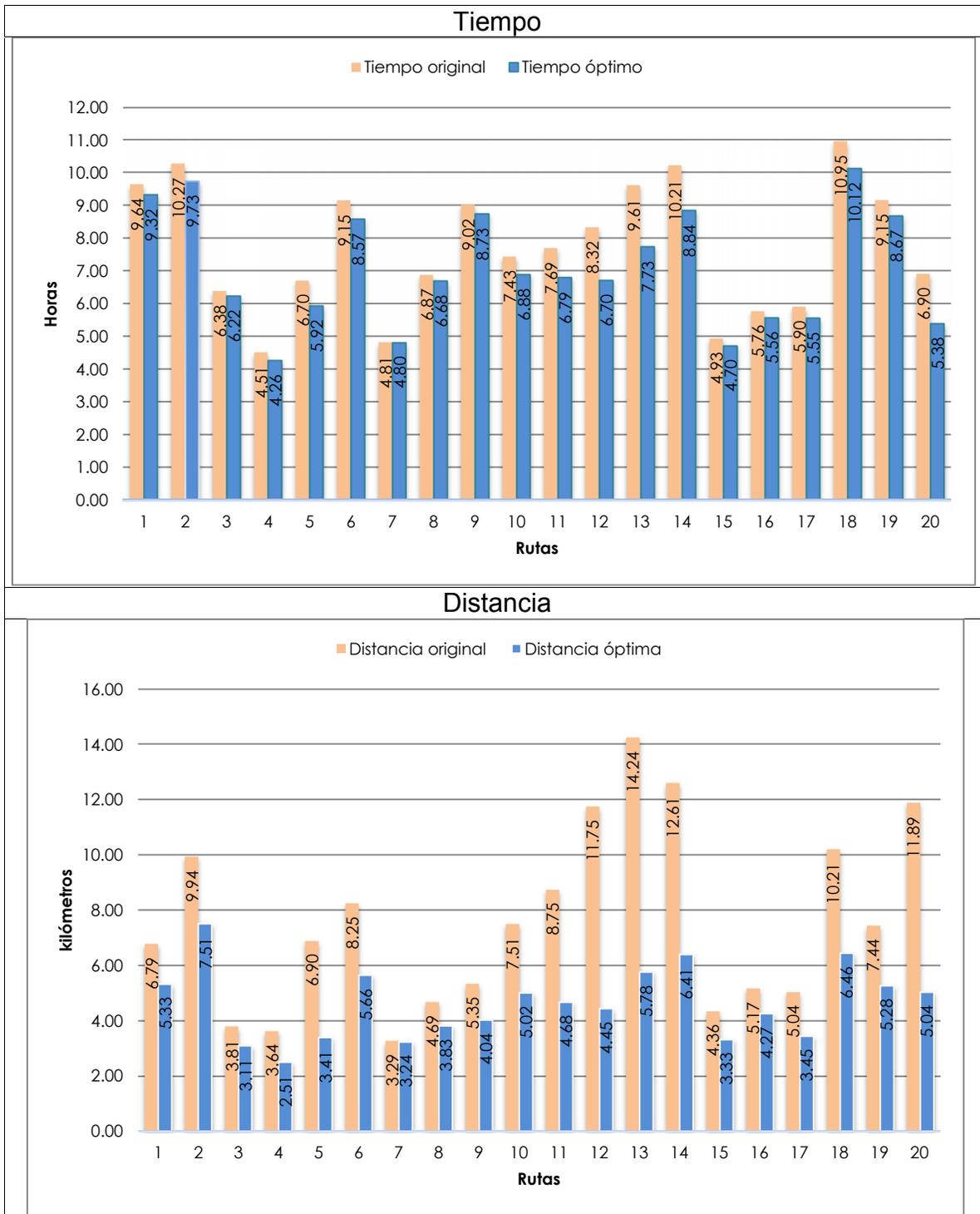


Figura 10.- Método 1: Comparación entre rutas originales y óptimas en cuanto a tiempo y distancia

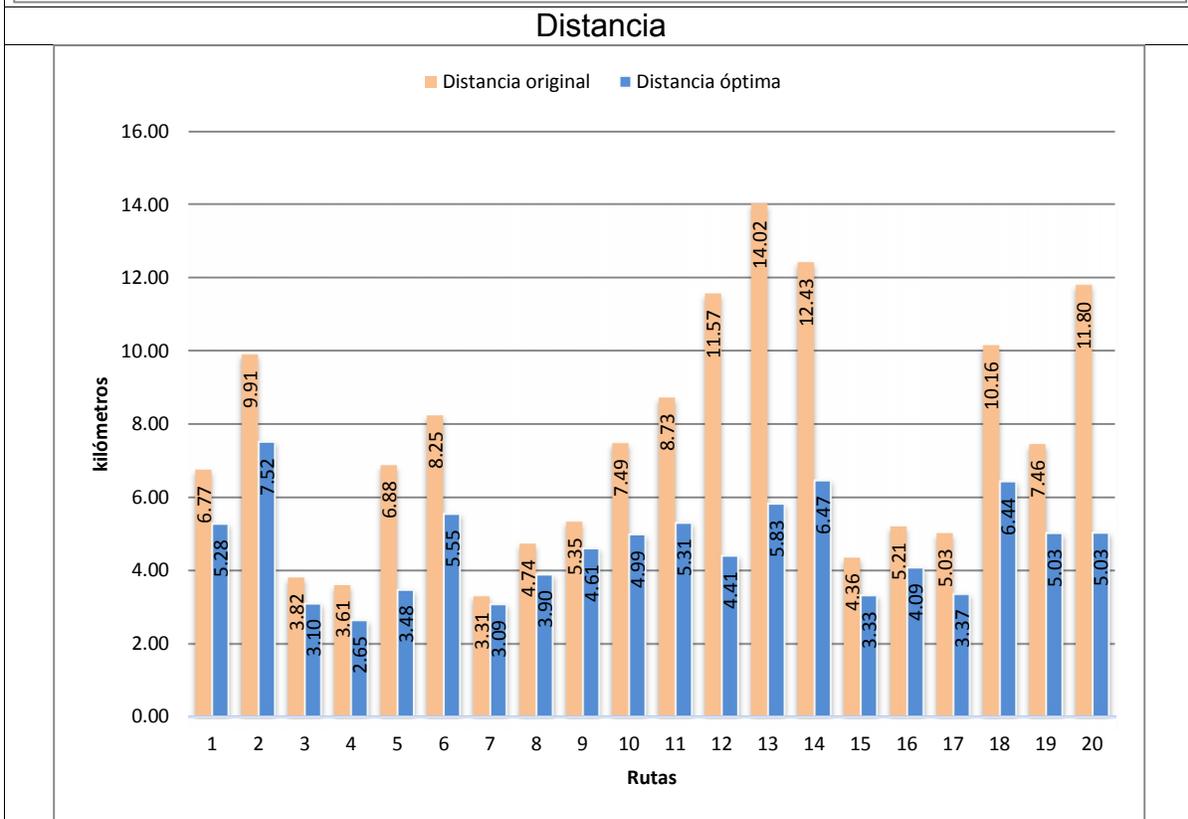
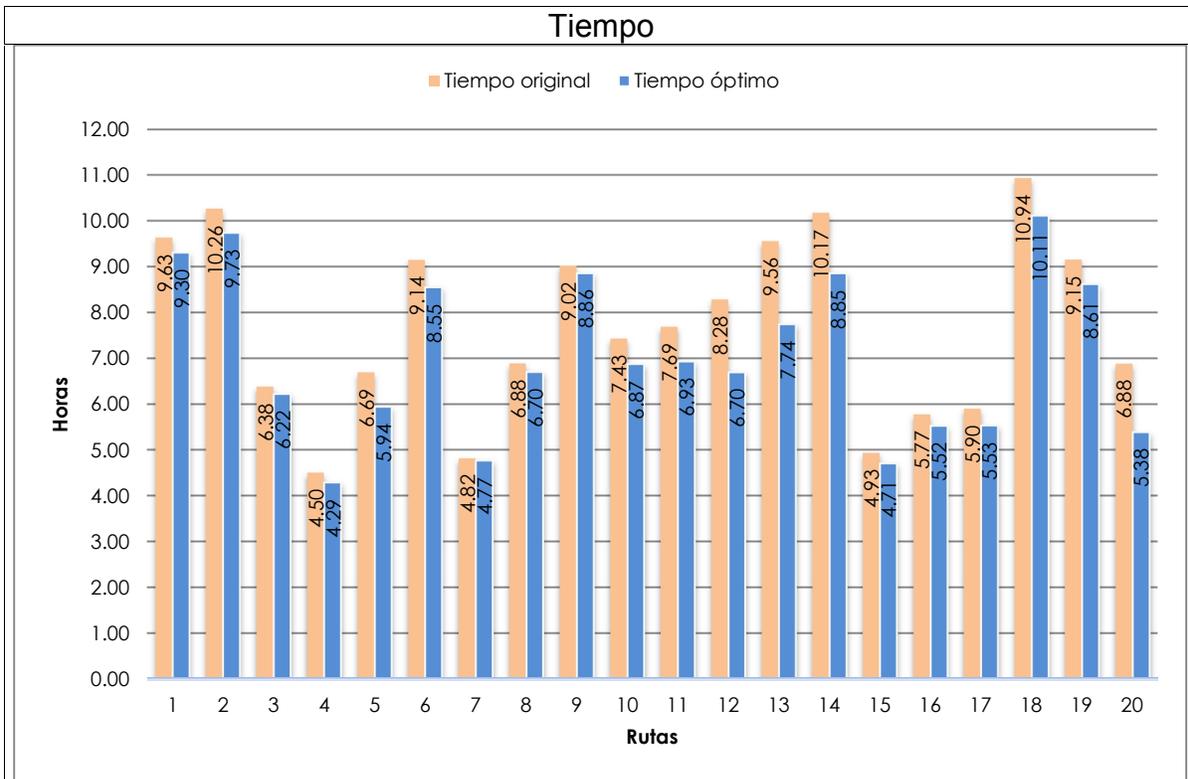


Figura 11.- Método 2: Comparación entre rutas originales y óptimas en cuanto a tiempo y distancia

Generación de nuevas rutas óptimas

Como se muestra Figura 12 se preparó la información previa el cálculo para obtener el tiempo, distancia y costo para la creación de las nuevas 21 rutas por cada método. El tiempo de procesamiento para el método 1 y el método 2 casi fue el mismo, es decir de 8 horas aproximadamente.



Figura 12.- VRP: Nuevas rutas óptimas para la red basada en los dos métodos tanto para perpendiculares como para cuadrícula

Análisis de problema de generación de rutas para vehículos (V.R.P. – Vehicle Routing Problem)

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 3 y Tabla 4, se detallan los resultados de la aplicación del modelo VRP “Vehicle Routing Problem” en los dos métodos del estudio, realizando una distribución uniforme de los puntos de carga para cada una de las nuevas rutas generadas, cumplen a cabalidad la carga horaria, se ha logrado la optimización de distancia, tiempo y costo y se consiguió realizar el recorrido de una ruta en un solo día.

Tabla 3.- Resultado aplicación de V.R.P para el método 1.

Nombre	Localización Inicial	Localización Final	Puntos Carga	Costo Total	Tiempo total (horas)	Tiempo de servicio (minutos)	Lunch (horas)	Tiempo de viaje (horas)	Distancia (kilómetros)	Hora Inicial	Hora final
Ruta 1	Location 1	Location 2	235	411.60	7.36	5.75	0.5	1.11	5.01	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:51
Ruta 2	Location 2	Location 12	188	416.66	7.44	5.48	0.5	1.46	6.59	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:56
Ruta 3	Location 2	Location 5	258	415.85	7.43	5.85	0.5	1.08	4.87	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:55
Ruta 4	Location 3	Location 5	213	418.86	7.48	5.83	0.5	1.15	5.18	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:58
Ruta 5	Location 5	Location 15	230	415.88	7.43	5.80	0.5	1.13	5.10	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:55
Ruta 6	Location 5	Location 4	193	419.74	7.50	5.75	0.5	1.25	5.62	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 7	Location 6	Location 4	250	416.15	7.44	5.73	0.5	1.20	5.42	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:56
Ruta 8	Location 4	Location 14	203	419.68	7.49	5.78	0.5	1.21	5.46	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 9	Location 7	Location 13	240	408.83	7.31	5.73	0.5	1.08	4.87	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:48
Ruta 10	Location 7	Location 14	232	416.48	7.44	5.70	0.5	1.24	5.60	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:56
Ruta 11	Location 14	Location 8	231	415.43	7.42	5.73	0.5	1.19	5.37	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:55
Ruta 12	Location 4	Location 9	239	389.29	6.99	5.28	0.5	1.20	5.43	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:29
Ruta 13	Location 9	Location 11	243	416.78	7.45	5.72	0.5	1.23	5.55	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:56
Ruta 14	Location 8	Location 10	220	394.16	7.07	5.45	0.5	1.12	5.05	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:34
Ruta 15	Location 16	Location 17	125	419.56	7.49	4.83	0.5	2.16	9.74	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 16	Location 16	Location 18	229	406.64	7.28	5.47	0.5	1.31	5.91	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:46
Ruta 17	Location 18	Location 19	180	419.64	7.49	5.83	0.5	1.16	5.23	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 18	Location 9	Location 10	120	419.28	7.49	5.65	0.5	1.34	6.03	01/09/2014 8:27	01/09/2014 15:56
Ruta 19	Location 10	Location 20	128	416.17	7.44	5.20	0.5	1.74	7.83	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:56
Ruta 20	Location 19	Location 20	247	414.67	7.41	5.62	0.5	1.29	5.84	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:54
Ruta 21	Location 20	Location 21	236	419.61	7.49	5.33	0.5	1.66	7.49	01/09/2014 8:24	01/09/2014 15:54

Tabla 4.- Resultado aplicación de V.R.P para el método 2.

Nombre	Localización Inicial	Localización Final	Puntos Carga	Costo Total	Tiempo total (horas)	Tiempo de servicio(horas)	Lunch(horas)	Tiempo de viaje(horas)	Distancia(kilómetros)	Hora Inicial	Hora final
Ruta 1	Location 1	Location 2	230	396.71	7.11	5.58	0.5	1.03	4.64	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:36
Ruta 2	Location 2	Location 12	224	418.08	7.47	5.62	0.5	1.35	6.09	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:58
Ruta 3	Location 2	Location 5	234	413.38	7.39	5.72	0.5	1.17	5.29	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:53
Ruta 4	Location 3	Location 5	185	419.09	7.48	5.58	0.5	1.40	6.32	01/09/2014 8:27	01/09/2014 15:56
Ruta 5	Location 5	Location 15	246	418.34	7.47	5.90	0.5	1.07	4.84	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:58
Ruta 6	Location 5	Location 4	260	411.28	7.35	5.63	0.5	1.22	5.51	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:51
Ruta 7	Location 6	Location 4	245	419.81	7.50	5.65	0.5	1.35	6.07	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 8	Location 4	Location 14	225	410.72	7.35	5.70	0.5	1.15	5.17	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:50
Ruta 9	Location 7	Location 13	244	410.16	7.34	5.70	0.5	1.14	5.12	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:50
Ruta 10	Location 7	Location 14	202	419.26	7.49	5.73	0.5	1.25	5.66	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 11	Location 14	Location 8	237	417.77	7.46	6.03	0.5	0.93	4.19	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:57
Ruta 12	Location 4	Location 9	238	418.25	7.47	5.63	0.5	1.34	6.03	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:58
Ruta 13	Location 9	Location 11	230	387.91	6.97	5.28	0.5	1.18	5.33	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:27
Ruta 14	Location 8	Location 10	204	418.74	7.48	5.63	0.5	1.35	6.07	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:58
Ruta 15	Location 16	Location 17	115	419.32	7.49	5.58	0.5	1.41	6.34	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 16	Location 16	Location 18	236	419.36	7.49	5.70	0.5	1.29	5.81	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 17	Location 18	Location 19	174	412.27	7.37	5.67	0.5	1.20	5.43	01/09/2014 8:29	01/09/2014 15:51
Ruta 18	Location 9	Location 10	102	419.93	7.50	5.82	0.5	1.18	5.33	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:59
Ruta 19	Location 10	Location 20	138	419.66	7.49	4.93	0.5	2.06	9.30	01/09/2014 8:15	01/09/2014 15:44
Ruta 20	Location 19	Location 20	248	396.40	7.11	5.25	0.5	1.36	6.12	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:36
Ruta 21	Location 20	Location 21	223	414.41	7.41	5.18	0.5	1.72	7.77	01/09/2014 8:30	01/09/2014 15:54

Se observa además en la Tabla 5 que la diferencia entre los dos métodos es mínima y que en la variable tiempo existe una diferencia de 0.17 horas, respecto a la distancia la diferencia es de 0.76 kilómetros y el costo difiere en un peso de 10.10.

Tabla 5.- Diferencia entre los métodos en cuanto a costo, distancia y tiempo.

	Cantidad de puntos de carga	Costo total	Distancia (kilómetros)	Tiempo de viaje (horas)	Tiempo de servicio (horas)	Tiempo total (horas)
Método 1	4440.00	8690.94	123.19	27.32	117.53	155.35
Método 2	4440.00	8680.84	122.44	27.15	117.53	155.18
Diferencia	0.00	-10.10	-0.76	-10.86	-11.62	-0.17

De acuerdo a la Figura 13 se puede evidenciar existe una diferencia entre los dos métodos de 1.44 kilómetros y 0.32 horas agrupando todas las 20 rutas.

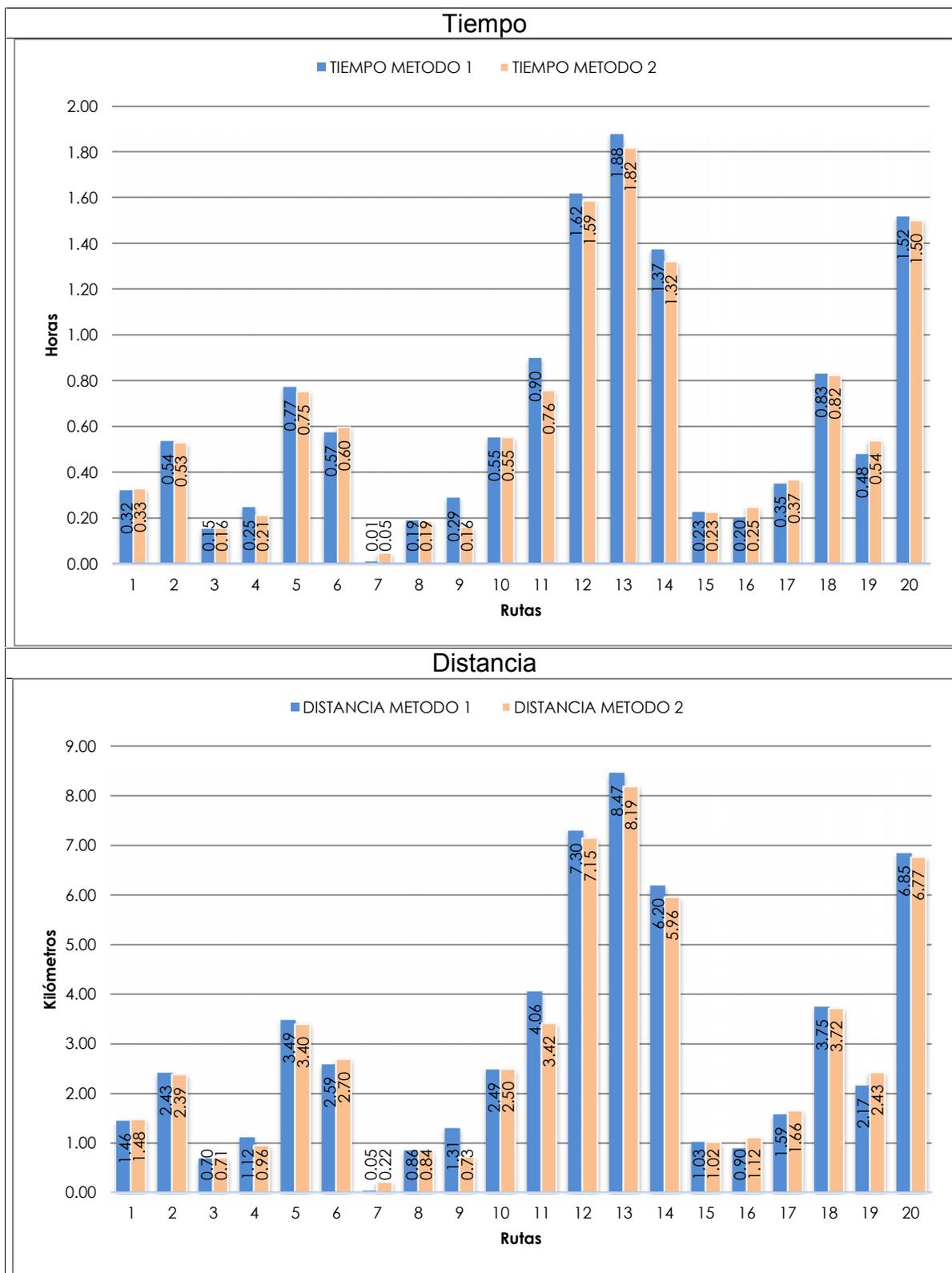


Figura 13.- Comparación en tiempo y distancia para los dos métodos.

4. Conclusiones:

Un limitante para aplicar el análisis de redes basado en rutas de peatones es la falta de información geográfica para estos fines ya que basan su cálculo mediante calles o avenidas, por ello se recomienda usar cualquiera de estas metodologías propuestas para la generación de esta información ya que se apegan significativamente a la realidad de recorrido de rutas de peatones por los resultados demostrados.

Si bien el método 1 de red peatonal con cruces perpendiculares es el que más se asemeja al recorrido de un peatón, su optimización de rutas no se aleja del método 2 de red generada con perpendiculares, por consiguiente se recomienda el uso de cualquiera de los dos métodos. También para la generación de nuevas rutas óptimas con la herramienta para resolución de problema de rutas para vehículos VRP dentro de nuestra área de estudio la diferencia en cuanto a tiempo, distancia y costo obtenida es mínima tanto en resultados de las rutas como en el tiempo de procesamiento que implica obtener estos resultados y se concluye que podría usarse cualquiera de las dos metodologías.

Se puede concluir también que se ha cumplido los objetivos planteados ya que se ha optimizado las rutas de lectura para el área de estudio y se puede cumplir una ruta en un solo día de acuerdo al horario y logística de trabajo de la empresa.

Trabajos futuros:

Partiendo de esta metodología se podría continuar desarrollando herramientas ajustadas a esta realidad para optimizar rutas peatonales con configuraciones propias del comportamiento de un peatón ya que actualmente solo existen herramientas cuya configuración está diseñada para flujos vehiculares, como es el caso de Network Analyst del Software ArcGis, sin embargo se lo puede desarrollar en otros paquetes como Quantum Gis, por ejemplo.

Los resultados obtenidos en nuestra área de estudio son satisfactorios por lo que se podría replicar para el resto de la ciudad de Cuenca o replicar este modelo a cualquier otra empresa eléctrica del sector, si bien fue usado para rutas de lectura dentro de la parte urbana, este modelo puede ser usado para cualquier otro fin, como puede ser: rutas para entrega de correspondencia, periódicos, publicidad también puede ser usado para realizar encuestas, pedidos, etc.

5. Referencias bibliográficas:

- Cruz, Eduardo Arturo, Jorge Hernán Restrepo, and Pedro Daniel Medina. "Un problema logístico de ruteo de vehículos y una solución con solve de excel: un caso de estudio." *Scientia et Technica* 5.37 (2007).
- Pérez Rave, Jorge Iván, et al. "Tetraheurística sistémica (THS) para el TSP." *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 18.2 (2010): 187-202.
- Pérez Rave, J. I., Jaramillo Álvarez, G. P., Parra Mesa, C. M., & Moreno Velásquez, L. F. (2010). Tetraheurística sistémica (THS) para el TSP. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18(2), 187–202.
- Arias-Osorio, Javier, Carlos Eduardo Díaz Bohórquez, and Henry Lamos Díaz. "Sistema de soporte a decisiones para el diseño de rutas escolares en Coomunclaver Ltda." XVI Latin-Ibero-American Conference on Operation Research/XLIV Brazilian Symposium on Operation Research (XVI CLAIO/XVIV SPBO), ponencia. No. 102217. 2012.
- Salazar Hornig, Eduardo, and Nelson Ruiz Fuentealba. "Modelo ACO para la Recolección de Residuos por Contenedores." *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 17.2 (2009): 236-243.
- Rave, Jorge Pérez, Gloria Jaramillo Álvarez, and Juan Velásquez Henao. "¿Cómo identificar la literatura "poco-vital" y cuantificar su representatividad? Aplicación al problema del vendedor viajero< TSP>." (2012).
- Ravea, Jorge Ivan Pérez, and Gloria Patricia Jaramillo Álvarezb. "Espacio literario relevante sobre el problema del vendedor viajero (TSP): contenido, clasificación, métodos y campos de inspiración."
- Velásquez, Luis Fernando Moreno, et al. "TETRAHEURÍSTICA SISTÉMICA (THS) PARA EL TSP." *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 18.2 (2010): 187-202.
- Medina, Pedro Daniel, and Jorge Hernan Restrepo. "Un problema logístico de ruteo de vehículos y una solución con la heurística R: Un caso de estudio." *Scientia Et Technica* 13.37 (2007): 407-411.
- Hincapié, Ricardo Alberto, Carlos Alberto Ríos Porras, and Ramón Alfonso Gallego. "Técnicas heurísticas aplicadas al problema del cartero viajante (TSP)." *Scientia et Technica* 1.24 (2004).
- Velarde, JL González, and RZ Ríos Mercado. "Investigación de operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística." *Ingenierías* 2.4 (1999): 18-23.
- Pacheco, Joaquín A. "Heurístico para los problemas de rutas con carga y descarga en sistemas LIFO." (2011).
- Benavent, Enrique, et al. "Análisis de heurísticos para el problema del

cartero rural." Trabajos de estadística y de investigación operativa 36.2 (1985): 27-38.

- Mercado, RZ Ríos, and Jonathan F. Bard. "Heurísticas para secuenciamiento de tareas en líneas de flujo." Ciencia UANL 3.4 (2000): 420-427.
- Daza, Julio Mario, Jairo R. Montoya, and Francesco Narducci. "Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases." Revista EIA 12 (2009): 23-38.
- Robusté, F., M. Estrada, and A. LÓPEZ. "Sobre la estimación de la distancia en el TSP y VRP en zonas elípticas." (2003).
- Vargas, Guillermo González, and Felipe González Aristizábal. "Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. un caso de estudio. parte 2: algoritmo genético, comparación con una solución heurística." Ingeniería e Investigación 27.1 (2007): 149-157.
- Parreño Torres, Francisco. Algoritmos heurísticos y exactos para problemas de corte no guillotina en dos dimensiones. Universitat de València, 2004.
- Corominas, Albert. "EAGH (Empirically Adjusted Greedy Algorithms)." IX Congreso de Ingeniería de Organización. 2005.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_del_viajante.
- <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/00qn0000001p000000/>
- <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=6a2a3c3cece749558393d4e80241ef51/>

6. Anexos

Anexo Nro. 1

Parámetros para el cálculo de ruta original

Método 1 y 2.- Tiempo de creación aproximado para el área de estudio: 0.5 minutos.

- Cargar paradas: 4446 puntos de carga.
- Asignación el nombre de la ruta de lectura.
- Atributo minutos: Se asignó el campo tiempo de lectura de cada punto de carga el mismo que al tener varios medidores se calcula un minuto por cada lectura de un medidor.
- Ordenamiento: Secuencia de lectura para la ruta actual.

Configuración de propiedades método 1 y 2.

- Impedancia: Minutos.
- Uso de Tiempo de inicio: 8:30.
- Día de la semana: Día actual.
- Uso ventana de tiempo: No.
- Reordenamiento de paradas: No.
- Ignorar localizaciones inválidas: Si.
- Fuente: Red de cada método 1 y 2.
- Acumulación:
 - Costo: Si.
 - Metros: Si.
 - Minutos: Si.

Anexo Nro. 2

Parámetros para el cálculo de las rutas óptimas

Método 1 y 2.- Tiempo de creación aproximado para el área de estudio: 10 minutos (método 1) y 9 minutos (método 2).

- Cargar paradas: Para el área de estudio se consideraron 4446 puntos de carga.
- Asignación el nombre de la ruta de lectura.
- Atributo minutos: Se asignó el campo tiempo de lectura de cada punto de carga el mismo que al tener varios medidores se calcula un minuto por cada lectura de un medidor.
- Ordenamiento: Secuencia de lectura para la ruta actual.

Configuración de propiedades método 1 y 2.

- Impedancia: Minutos.
- Uso de Tiempo de inicio: 8:30.
- Día de la semana: Día actual.
- Uso ventana de tiempo: No.
- Reordenamiento de paradas: Si.
 - Preserva primera parada: No.
 - Preserva última parada: No.
- Ignorar localizaciones inválidas: Si.
- Fuente: Red de cada método 1 y 2.
- Acumulación:
 - Costo: Si.
 - Metros: Si.
 - Minutos: Si.

Anexo Nro. 3

Parámetros para la creación de nuevas rutas óptimas a partir de paradas

Herramienta a usar: Arcgis 10.1 extensión Network Analyst - Vehicle Routing Problem (problema de generación de rutas para vehículos).

Configuración de modelo para método 1 y método 2.

Propiedades:

- **Fuente:** Red creada para método 1 y 2.
- Atributo de Tiempo: minutos.
- Atributo de Distancia: metros.
- Fecha por defecto: Lunes
- Capacidad: 1.
- Unidad de campo de tiempo: minutos.
- Unidad de campo distancia: metros.
- Giros: Permitido.
- Direcciones:
 - Unidad de distancia: Metros.
 - Uso atributo tiempo: Minutos.
- Importancia de violación de venta de tiempo: alta.
- Importancia por exceso de tránsito: baja.

Órdenes – configuración:

- Cargar el archivo de puntos de carga.
- Atributo nombre: Id del objeto.
- Tiempo de servicio: Tiempo de lectura.
- Inicio ventana de tiempo: 08h30.
- Final de ventana de tiempo: 16h00.

Depósitos – configuración:

Se ha generado un archivo de depósitos con 21 localizaciones de puntos de inicio y fin de rutas de lectura distribuidos equitativamente en toda el área de estudio.

Cargar el archivo de depósitos.

Rutas – configuración:

El tiempo total de servicio de todas las rutas óptimas para toda el área de estudio es 164 horas es decir que se completaría el servicio en 21 días laborables de 7

horas cada uno, por ende se plantea la hipótesis de que se requiere 21 personas para que cada una pueda ejecutar una ruta en un día de 7 horas laborables. Por lo tanto crearemos 21 rutas con su respectiva configuración. Este proceso se realiza para las 21 rutas:

- Nombre de inicio y fin del depósito: Los que correspondan.
- Horario temprano de inicio: 8h00.
- Horario tardío de inicio: 8h30.
- Costo por unidad: 1.
- Tiempo de inicio de sobretiempo: 450 minutos (7 horas y 30 minutos incluido horario de descanso).
- Máximo total de órdenes por ruta: 260.
- Máximo total de tiempo de órdenes por ruta: 450.

Tiempos de descanso – configuración:

- Hora de inicio: 13h00.
- Hora de final: 13h30.
- Tiempo: 30 minutos.
- Tiene pago: No.
- Ruta: la que corresponda.
- Tiempo máximo de violación: 0.

Tiempo de ejecución del modelo 1 y modelo 2:

8 Horas aproximadamente cada uno.