

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS PARA LA ENTREGA DE FACTURAS
EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO ASEPAILA.**

**CAROLINA BARRIOS OLAYA
ANGELA MARÍA PEREA BUITRAGO**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL VALLE – 2023**

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS PARA LA ENTREGA DE FACTURAS
EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO ASEPAILA**

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero(a) Industrial

**CAROLINA BARRIOS OLAYA
ANGELA MARÍA PEREA BUITRAGO**

**DIRECTOR
JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO
CO DIRECTOR
CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL VALLE - 2023**

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Diagnóstico del proceso de lectura de servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto al caso de estudio.....	9
1.2 Análisis de la problemática.....	9
1.3- Proceso de lectura, entrega de recibos y territorio o rutas existentes.....	10
1.4- Programación de los tiempos de entrega de recibos y toma de lecturas existentes	14
1.5. Mapa del corregimiento la Paila	15
1.6. Resumen del capítulo 1	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO II	¡Error! Marcador no definido.
2. Definición de un método de toma de decisión para la asignación y secuenciación de ruta a partir de un análisis de revisión de la literatura	17
2.1. Descripción del método a partir de un análisis de revisión de la literatura	17
2.2.- Breve descripción del método del cartero chino	19
2.3. Estructura y/o distribución física y mapas de las rutas existentes en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.....	21
2.4. Descripción de las distancias recorridas y tiempo empleado por ciclo de entrega de facturas en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.	25
2.5. Aplicación del método del cartero chino por ciclo para la entrega de facturas en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.....	25
CAPITULO III	¡Error! Marcador no definido.
Evaluación del método propuesto a partir de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las características de operación de la situación actual.	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología	7
Figura 2. Diagrama de procesos para generar facturación de consumo de agua	11
Figura 3. Caracterización del proceso de facturación	12
Figura 4. Mapa político del corregimiento La Paila.....	15
Figura 5. Grafo	20
Figura 6. Algoritmo del cartero chino.....	21
Figura 7. Recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas	22
Figura 8. Recorrido actual o existente del ciclo 20 Y 30 (parcial) para la entrega de facturas	23
Figura 9. Recorrido actual o existente del ciclo 30 y 40 para la entrega de facturas.....	24
Figura 10. Grafo asociado al ciclo 10. Nodos y arcos	26
Figura 11. Grafo ciclo 10 eulerizado	28
Figura 12. Grafo del ciclo 20 y 30 (parcial). Segundo día de recorrido	31
Figura 13. Grafo del ciclo 30 (parcial) y 40 completo. Tercer día de recorrido	32
Figura 14. Recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas	34
Figura 15. Recorrido generado al aplicar el método del cartero chino	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Trabajadores de entrega de recibos	10
Tabla 2.Clasificación de suscriptores de Asepaila	13
Tabla 3. Distribución de barrios del casco central por ciclos	13
Tabla 4. Recorrido de toma de lectura y entregas de recibo por ciclo	14
Tabla 5. Trabajos consultados para el análisis bibliográfico que sustenta el método seleccionado para la toma de decisiones (Anexo B).....	18
Tabla 6. Distancias recorridas y tiempo empleado por ciclo de	25
Tabla 7. Paridad de los nodos del grafo asociado al ciclo 10	27
Tabla 8. Distancias en metros entre los nodos del grafo asociado al ciclo 10	29
Tabla 9. Parámetro de evaluación por el método generado y comparación porcentual de disminución en las distancias recorridas	34
Tabla 10. Parámetro de evaluación del método generado, comparación de distancias y disminución de tiempo del recorrido	35

INTRODUCCIÓN

La asociación de usuarios de los servicios públicos de La Paila ASEPAILA es una empresa con más de 22 años de fundada, dedicada a la provisión de servicios públicos de acueducto en el corregimiento de La Paila, Valle del Cauca. Su objetivo principal es mejorar la calidad de vida en la comunidad al garantizar un suministro de agua potable confiable. Sin embargo, enfrentan desafíos en la entrega de los recibos a los usuarios debido a una ruta de entrega empírica y no estandarizada. Este problema se asemeja al "problema del cartero chino", que busca optimizar una ruta de entrega, y representa un obstáculo para la eficiencia en el tiempo y la sobrecarga de trabajo para los empleados (Fiestas, 2022). La falta de seguimiento y control, así como la ausencia de herramientas logísticas adecuadas, también afectan el proceso. Por lo tanto, se plantea la necesidad de implementar una gestión logística más efectiva y planificar rutas teniendo en cuenta factores como la complejidad de la actividad, la ubicación geográfica de los usuarios y la ausencia de información relevante.

La propuesta busca no solo mejorar la eficiencia en términos de costos operativos, sino también considerar aspectos como el equilibrio de la carga de trabajo entre los operadores y las restricciones de circulación en ciertas áreas (Álvarez 2016). En última instancia, se reconoce la importancia de abordar estos desafíos logísticos para garantizar un servicio óptimo y eficiente, no solo para la empresa sino también para sus trabajadores y usuarios (Alcana 2018).

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

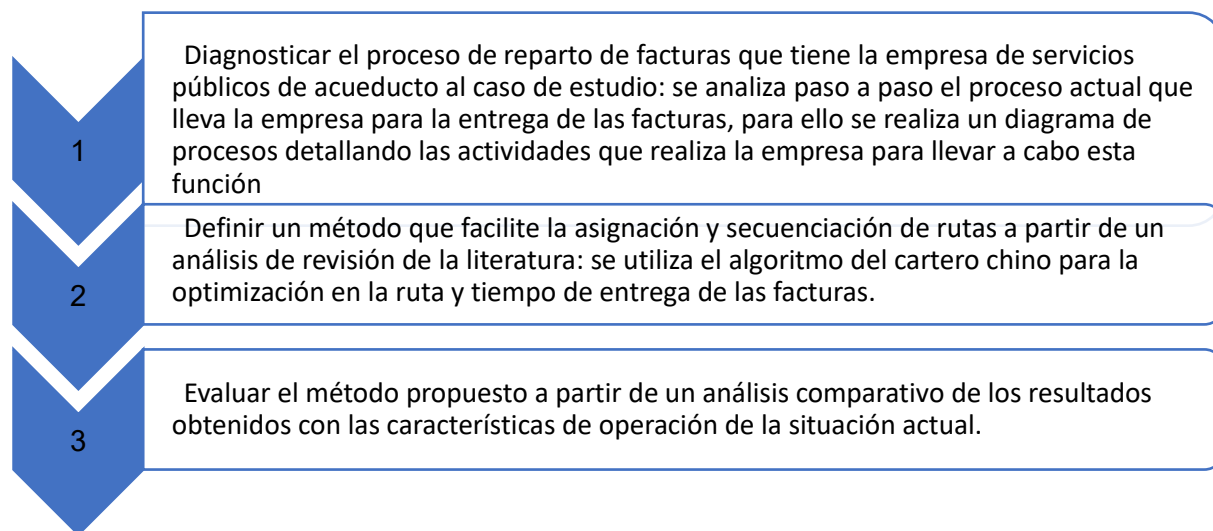
¿Cómo debe ser la asignación de entrega de las facturas para la disminución de los tiempos totales de la ruta en una empresa de servicios públicos de acueducto ubicada en el norte del Valle del Cauca?

Para el desarrollo de esta investigación se planteó como objetivo general, realizar una propuesta de mejora en la secuenciación de ruta para la entrega de facturas que contribuya a disminuir los tiempos totales de procesamiento en una empresa de servicios públicos de acueducto ubicada en el norte del valle del cauca (Gordon 2019). Para dar cumplimiento general del proyecto, se definieron tres objetivos específicos. El primer objetivo específico consiste en diagnosticar el proceso de reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto al caso de estudio. El segundo objetivo específico, consiste en definir un método que facilite la asignación y secuenciación de rutas a partir de un análisis de revisión de literatura. Finalmente, el tercer objetivo específico consiste en evaluar el modelo propuesto a partir de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las características de operación de la situación actual.

Para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, en primera instancia, se presenta a continuación, de forma secuencial la forma de abordar los objetivos

específicos para darle al final cumplimiento total al objetivo general propuesto (Henao 2015).

Figura 1. Metodología



Fuente: Elaboración propia (2023).

El estudio se clasifica como exploratorio y descriptivo (Hernández 2018), y su objetivo es abordar el problema de rutas de transporte en una empresa específica (Correa 2011). Las investigadoras se basarán en su conocimiento previo y en la metodología del problema del cartero chino (Yordá 2015). Además, se utilizará referencias de trabajos previos de otros investigadores e ingenieros para establecer una base teórica sólida. Se recopilará información de las personas responsables de la distribución de rutas de lectura y entrega de recibos en la compañía. El enfoque descriptivo se utilizará para delimitar los aspectos clave de la investigación (Hernández 2018), como el sistema de enrutamiento, la disponibilidad de personal y la distancia de entrega. Se emplearán técnicas de muestreo y estrategias de tratamiento de datos diseñadas específicamente para este propósito (Silva 2019). También se utilizarán métodos de observación y análisis para comprender en detalle la problemática y establecer relaciones causa-efecto. En última instancia, el estudio tiene como objetivo proponer mejoras en el tiempo de entrega de recibos en la empresa Asepaila.

Finalmente, el trabajo se desglosa de la siguiente manera; el Capítulo 1, comprende la descripción del marco referencial donde se desarrolla la situación problema que se aborda en esta investigación haciendo un diagnóstico del problema y presentando como actualmente se desempeña los trabajadores al entregar las facturas. Em el Capítulo 2 se describe el proceso de análisis bibliográfico realizado para justificar la selección del

método del cartero chino para elaborar un modelo de toma de decisiones de la selección de las rutas a seguir, también se alude a los conceptos básicos del método del cartero chino y se describen las rutas actuales que siguen los trabajadores, además se describe el algoritmo del cartero chino y se implementa a las rutas de la entrega de las facturas mostrando los resultados en función de las distancias generadas por la implementación del algoritmo. El Capítulo 3, comprende la evaluación de las rutas actuales y teóricas propuestas que se obtienen al aplicar el algoritmo del cartero chino y contrastan estos resultados. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1.1. Diagnóstico del proceso de lectura de servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto el caso de estudio.

En este capítulo se describe la situación actual de cómo se realiza el proceso de toma de lectura de los medidores de agua y entrega de recibos públicos en una empresa en el norte del Valle del Cauca. El desarrollo de esta investigación se realiza en la empresa ASEPAILA. Esta empresa es la encargada de administrar los recursos hídricos en el corregimiento La Paila, municipio El Zarzal, del Departamento Valle del Cauca. Anualmente se factura en promedio 363.086 m^3 y se tratan o entregan anualmente 508.079 m^3 (Informe anual de la empresa Asepaila, 2022).

Esta empresa tiene 22 años de fundada. El objeto social de la Empresa se describe como una asociación civil, autónoma, de carácter comunitario, sin ánimo de lucro, de naturaleza privada que presta los servicios públicos de acueducto y alcantarillado al corregimiento de la Paila, propende por la prestación de un óptimo servicio, tiene como domicilio, el corregimiento de la Paila, Municipio de Zarzal (Valle del Cauca), ubicada en la calle 11 N.º 2 – 25, Barrio Hernando Caicedo, donde desarrolla su objeto social; constituida mediante documento privado del 20 de diciembre de 2000, inscrita en la cámara de comercio el 6 de abril de 2001 bajo el N.º 825 del libro I, identificada con el NIT No. 821.002.371-5

Esta empresa administra los recursos de aguas blanca y el manejo de aguas residuales para una población de aproximadamente 5700 habitantes (Fuente: [City Population](#)), con un consumo per cápita de 7 m^3 según el censo realizado en el año 2018.

1.2 Análisis de la problemática

Para realizar el diagnóstico pertinente, se realizaron entrevistas a los trabajadores de ASEPAILA encargados de la toma de lecturas a los medidores y la entrega de recibos por consumo de agua. Además, mediante información recolectada a través de entrevistas con personal de la gerencia de la empresa ([Ver Anexo A](#)), así como la observación directa, se pudo constatar que en la actualidad el proceso de lectura del servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA, evidencia debilidades y fallas operacionales, afectando directamente su desempeño, competitividad y optimización de rutas para la entrega de facturas.

Por otro lado, la ausencia de información relevante del sistema para la toma de decisiones, tales como, datos históricos de tiempo de rutas, tiempo de servicios y demandas; la inexactitud de datos en torno a la ubicación geográfica de cada uno de los usuarios y las transiciones constantes del sistema real, así como la ausencia de especialistas en esta materia o de métodos o instrumentos sistémicos aptos (software eficiente y eficaz); no permiten una evaluación adecuada del desempeño

del proceso de lectura de servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto y de los trabajadores encargados de entregar la información del consumo a los suscriptores.

Por consiguiente, la empresa somete al establecimiento de rutas basándose en conocimiento empírico, basado solo en la experiencia, se estima la asignación de 3 días de lectura y 3 días de entrega de facturas, lo que conlleva que el tiempo y distancia recorrida no es real, exacto u óptimo. La ruta existente cuenta con 4 ciclos o esta subdividida en 4 sectores, que representan el área del casco urbano de la población objeto de estudio. Dado que estos ciclos están definidos sin ningún tipo de método o herramienta, no se considera que son equidistantes y equitativos en cuanto a la carga. En consecuencia, se hace necesaria la evaluación del desempeño actual en la entrega de las facturas y establecer una ruta alterna óptima generada por medio de métodos confiables que permitan el ahorro de tiempo y esfuerzo a los trabajadores y a la empresa.

El grado de funcionamiento de una organización y su respuesta precisa a la incertidumbre del entorno, está relacionado con el papel que juegan la toma de decisiones. Por ello, considerando el contexto, las condiciones que rigen y los pocos recursos, que conducen a la empresa a operar en situaciones desfavorables, bajo la ausencia de estrategias y políticas claras, así como la inexperiencia y desconocimiento de métodos concretos asociados a la optimización de rutas para la entrega de facturas, conllevan a realizar una propuesta de mejora en la secuenciación de ruta para la entrega de facturas que contribuya a disminuir los tiempos totales de procesamiento en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.

1.3- Proceso de lectura, entrega de recibos y territorio o rutas existentes.

Los trabajadores encargados de realizar esta actividad se categorizan por el tipo de actividad que realizan en la tabla 1, en ella se describen cuantos trabajadores están asignados a la lectura de los medidores de agua y cuantos están asignados a la entrega de recibos:

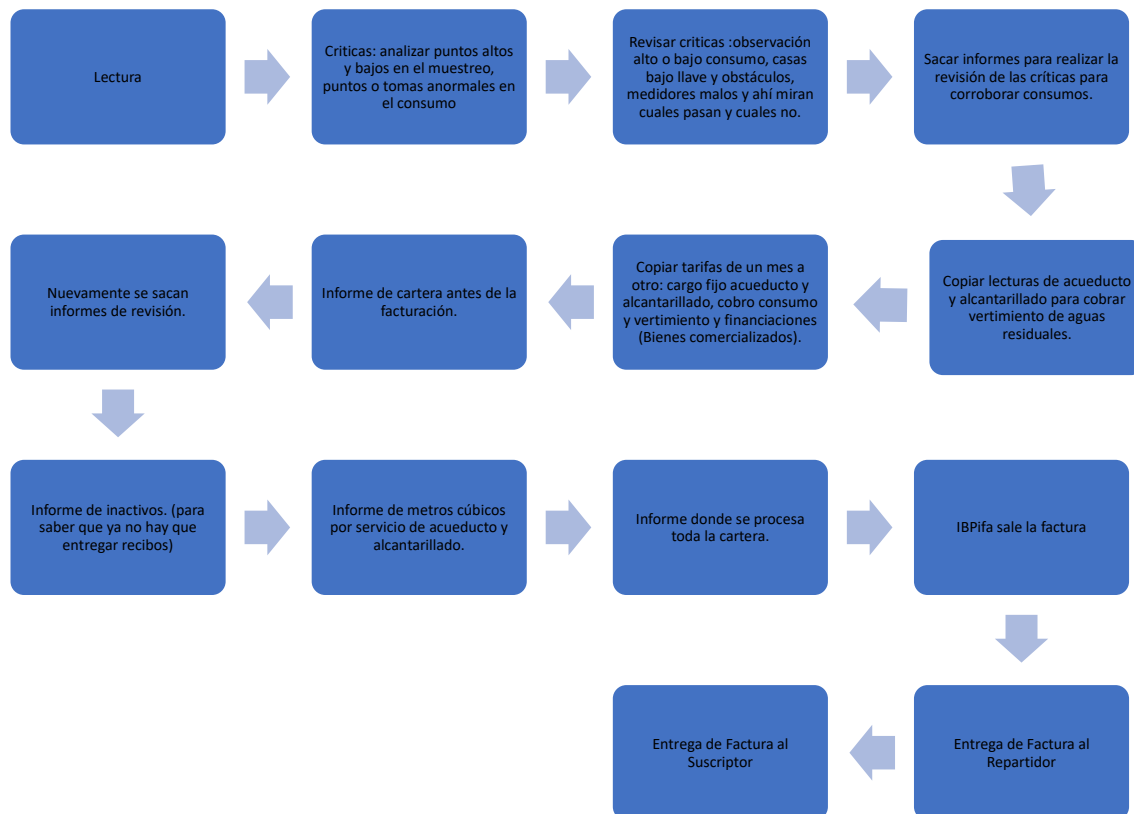
Tabla 1. Trabajadores de entrega de recibos y lecturas de medidores

Descripción	Número de trabajadores
Toma de lectura	2
Entrega de recibos	1

Fuente: Elaboración propia (2023).

El diagrama de procesos realizado para la toma de lecturas y generación de facturas se describe en la figura 2, donde se muestran las actividades realizadas desde la lectura hasta la generación de la factura correspondiente:

Figura 2. Diagrama de procesos para generar facturación de consumo de agua



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por la gerencia de la empresa Asepaila.
Elaboración propia (2023).

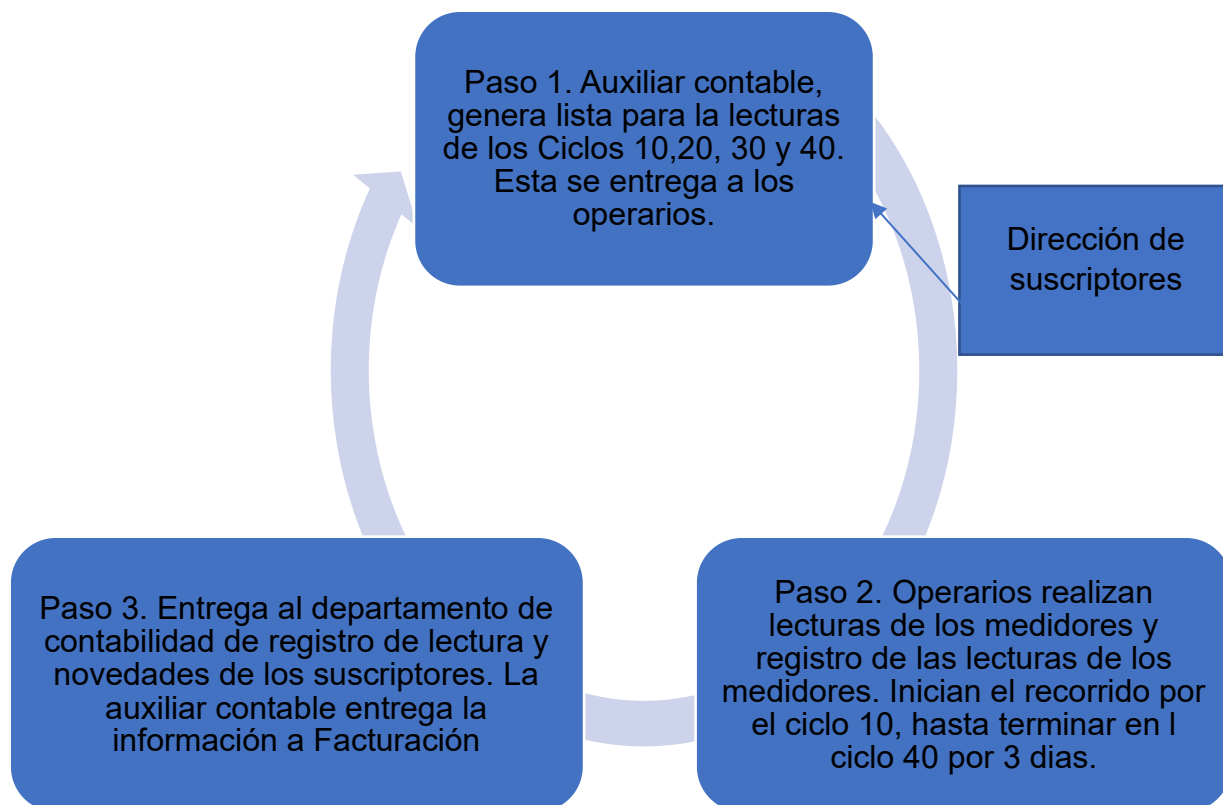
Cabe resaltar, que un ciclo se refiere a la secuencia de eventos o secuencia de etapas de características periódicas y se reiteran en un cierto orden. El diccionario de la lengua española (2001), define ciclos, como la serie de fases por las que pasa un fenómeno periódico. Dado que este proceso se realiza ciclo por ciclo, para realizar el trabajo de lectura y entrega de recibos a los suscriptores de ASEPAILA, la empresa ha diseñado rutas de entrega de recibos y de la lectura de medidores de aguas. Estas rutas están conformadas por ciclos, en este caso, un ciclo corresponde a un grupo de manzanas asociadas a los barrios que conforman el casco central de La Paila. El criterio que emplea la empresa para agrupar los ciclos es la cercanía geográfica.

Los trabajadores de ASEPAILA cuenta con cuatro ciclos de entrega de recibos y lecturas de medidores, según información suministrada por la gerencia de la empresa, la ruta inicia por el ciclo 10 con los barrios Belisario Caicedo que cuenta con 7 manzanas y Santa Cecilia con 9 manzanas, seguido del ciclo 20 con los barrios Hernando Caicedo con 10 manzanas y Rafael González I con 6 manzanas,

después el ciclo 30 donde se encuentran los barrios Santa Barbara con 13 manzanas, Villa del Sol con 2 manzanas y Rafael González II con 4 manzanas, y por último el ciclo 40 que está compuesto por los barrios Santa Rita con 2 manzanas, La Frutera con 2 manzanas y Villa del Río con 5 manzanas.

Como el proceso de facturación está estrechamente enlazado con el de lectura, a continuación, se presentan en la figura 3, la caracterización de los procesos de lectura y facturación:

Figura 3. Caracterización del proceso de facturación



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por la gerencia de la empresa Asepaila. **Elaboración propia (2023).**

Según se muestra en el diagrama o figura 3. La lectura inicia cuando la auxiliar contable saca un listado por ciclos 10, 20, 30 y 40 donde sale la dirección y lectura, esta permite a los operarios seguir la ruta para iniciar la lectura de los medidores, inician el recorrido por el ciclo 10 en el primer día casa por casa revisando los contadores, donde anotan exactamente los dígitos que aparecen en el medidor, así mismo, los operarios analizan el estado del medidor, verifican posibles daños, conexiones inapropiadas, reportan obstrucción en la toma en el caso de que algún vehículo u objeto no permita realizarla; al terminar el día de trabajo la información vuelve al departamento de facturación para reportar las críticas, observaciones y novedades, para su respectivo control. Este proceso se realiza sucesivamente hasta terminar en el ciclo 40, para los tres días, después de realizar las críticas se entregan

a la auxiliar contable (facturación) para que inicie su procesamiento. Para una descripción de la organización de la empresa ver [Anexo B](#).

Se realiza el proceso de emisión de la factura y por último el proceso de entrega en el cual se clasifican las facturas por ciclo para iniciar la entrega, estas se entregan de acuerdo a la ruta establecida, ciclo por ciclo, de acuerdo a la ruta sugerida. El recorrido se realiza en sentido a las manecillas del reloj manzana por manzana, el operario debe corroborar las direcciones emitidas en las facturas para que sean entregadas correctamente. Este proceso se realiza también durante tres días, así sucesivamente, al finalizar el ciclo 40 el último día, el operario regresa a facturación y da aviso de alguna novedad. A continuación, se describen la distribución de los suscriptores de ASEPAILA:

Tabla 2. Clasificación de suscriptores de ASEPAILA

Tipo de suscriptor	Número de suscriptores
Casas estrato 1	2
Casas estrato 2	1732
Comerciales	76
Oficiales (colegios, alcaldía, parques)	16
Oficiales (colegios, alcaldía, parques)	222
Total	1833

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la tabla 3, se describen los ciclos recorridos por los trabajadores, el nombre de los Barrio que cada ciclo abarca y el correspondiente número de manzanas asociado a cada Barrio.

Tabla 3. Distribución de barrios del casco central por ciclos

Ciclos	Barrios	Número de manzanas
10	Belisario Caicedo	7
	Santa Cecilia	9
20	Hernando Caicedo	10
	Rafael González I	6
30	Santa Bárbara	13
	Villa Del Sol	2
	Rafael González II	4
40	Santa Rita	2
	Villa del Río	5
	La Frutera	2

Fuente: Elaboración propia (2023).

El proceso de lectura lo realizan dos personas, durante 3 días, en este tiempo realizan aproximadamente entre 9 y 10 horas de actividad; el proceso de entrega lo realiza una sola persona que le toma entre 9 y 10 horas aproximadamente en realizar este trabajo y durante ese tiempo llega a realizar otras actividades.

En este sentido, el territorio a abarcar es extenso y las entregas de los recibos, se realiza sin seguir una ruta establecida con criterios de optimización, puesto que el trabajador que hace las entregas se basa en su conocimiento empírico de la geografía de la zona y no teniendo en cuenta direcciones específicas de los suscriptores. Es importante hacer notar que no se tiene información de las calles que conforman los ciclos que constituyen el territorio a ser recorrido para la entrega y lectura de los medidores.

1.4- Programación de los tiempos de entrega de recibos y toma de lecturas existentes

La compañía establece un orden para la ruta a seguir comenzando por el ciclo 10 y en orden ascendente para los ciclos subsiguientes. Sin embargo, el trabajador que reparte los recibos, dado su conocimiento de la distribución geográfica de los suscriptores, establece de forma empírica el recorrido que se indica en la tabla 4, la justificación para esta forma de plantear la ruta de entrega, obedece en opinión del trabajador a su conocimiento de la ubicación de los domicilios de los suscriptores, así como el conocimiento que tiene de la distribución de las manzanas y calles del casco central de La Paila, Zarzal.

Tabla 4. Recorrido de toma de lectura y entregas de recibo por ciclo

Ciclo	Día 1	Día 2	Día 3
10	X		
20		X	
30		X	X
40			X

Fuente: Elaboración propia (2023).

Mediante información recolectada a través de encuesta (**Ver Anexo A**), se evidenció que toma tres días para entregar la totalidad de los recibos, con un registro de 9 horas para el ciclo 10 que es el ciclo desde donde empieza, con un total de 16 manzanas correspondientes a los barrios Belisario Caicedo y Santa Cecilia.

El segundo día corresponde al ciclo 20 y parte del ciclo 30 que contemplan a Hernando Caicedo con 10 manzanas y Rafael González I y II con 6 y 4 manzanas respectivamente, este recorrido se realiza en 9 horas. Finalmente, el tercer día se termina de recorrer parte del ciclo 30 correspondiente a los barrios Villa del Sol con 2 manzanas y Santa Bárbara con 13 manzanas, luego se recorre el ciclo 40 que consiste en Santa Rita con 2 manzanas, la Frutera con 2 manzanas y Villa del Río 5 manzanas, tomándole al trabajador 8 horas realizar las entregas correspondientes a este ciclo.

Por otro lado, la toma de lecturas de los medidores, sigue esta ruta, debido a que los trabajadores encargados de la toma de lectura realizan actividades que van enlazadas al proceso de facturación y están relacionadas con su trabajo para la empresa, se tiene que las rutas empleadas para esta actividad no cuentan con parámetros de control para evaluar la eficiencia e idoneidad de las rutas seguidas. Es importante recalcar que se habla del proceso de lectura de los medidores en esta investigación, pero solo se aplica el método propuesto al proceso de entrega de las facturas.

A continuación, se presenta en la figura 4, la distribución de las manzanas y calles del casco central de La Paila, Zarzal.

[illegible]

El mapa que se muestra en la figura 4, describe la distribución de los barrios del casco central del corregimiento La Paila, en el cual se desarrolla el trabajo y

conforma el marco geográfico donde están los 1833 suscriptores de la empresa que deben ser atendidos y donde se desarrolla la labor del trabajador que entrega las facturas de consumo a los suscriptores. **En el anexo C**, se muestra la información catastral de La Paila ([Ver Anexo C](#)).

El análisis realizado detalla el funcionamiento de la empresa ASEPAILA, el diagnóstico que se desprende de la observación realizada por las investigadoras, permitió establecer las falencias en el proceso de entrega de las facturas del servicio prestado por ASEPAILA. Las causas que originan esta situación subyacen en la carencia de una metodología adecuada para la secuenciación, seguimiento y evaluación del proceso de entrega de las facturas sirviendo de marco de referencia a este trabajo de investigación.

2. Definición de un método de toma de decisión para la asignación y secuenciación de ruta a partir de un análisis de revisión de la literatura

2.1. Descripción del método a partir de un análisis de revisión de la literatura.

Después de una exhaustiva revisión bibliográfica de la literatura pertinente y de solicitar la colaboración de registros y/o archivos de las distintas universidades que hacen vida activa, se intenta consultar, organizar y procesar la bibliografía y el material que presenta características de similitud con los propósitos del estudio, para el desarrollo desde una perspectiva teórica y establecer el método adecuado en la toma de decisiones.

Así mismo, el cumplimiento tanto del objetivo general como de los objetivos específicos planteados para esta investigación, requieren estar bien sustentados en pronunciamientos teóricos de literatura reconocida y pertinente que hayan analizado casos similares de estudio. En este sentido, el análisis bibliográfico que se presenta a continuación tiene como finalidad sustentar y considerar la posición de algunos investigadores que han estudiado sobre la materia.

En el [Anexo D](#), se describe el proceso realizado por las investigadoras para la selección de los trabajos que sirven de sustentación teórica a esta investigación. ([Ver Anexo D y E](#)). Es así como, una vez realizado el análisis bibliográfico se muestra a continuación el método adecuado seleccionado en la toma de decisiones para la asignación y secuenciación de la ruta a seguir por los trabajadores de la empresa ASEPAILA. En la Tabla 5, se describen los trabajos consultados, se sistematizó, por tema, autores, modelo aplicado y método, lo que conllevó a analizarlos para la selección del modelo de toma de decisión.

Tabla 5. Trabajos consultados para el análisis bibliográfico que sustenta el método seleccionado para la toma de decisiones ([Anexo D](#))

Nº	Título	Autores (año)	Metodología	Técnica e instrumento empleado
1	Optimización del proceso de distribución de la facturación y la satisfacción al cliente de la empresa américa Móvil Perú S.A. 2016.	Álvarez, R. & Rioja, C. (2016)	Análisis bibliográfico y análisis histórico de datos	Por medio de un análisis estadístico se establece el nivel de satisfacción de la muestra seleccionada de clientes.
2	Optimización de rutas de lecturas de consumo de agua potable para el sistema de recaudación del gad guano utilizando pgrouting en qgis	Gordon, K. & Padilla, M. (2019)	Algoritmo Cartero chino	Una vez establecida la ruta actual de lectura se usa el software pgrouting para optimizar la ruta actual
3	Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de zarzal valle del cauca	Henao, B. & Piedrahita, J. (2015)	Algoritmo Cartero chino	Se resuelve, mediante un algoritmo de programación lineal y así hallar la ruta óptima
4	El problema del cartero chino	Yordá, J (2015)	Algoritmo Cartero chino	Descripción teórica de las variantes del problema y sus enfoques de solución
5	Teoría de Grafos	Álvarez, M. & Parra J. (2013)	Teoría de grafos	Desde el punto de vista teórico matemático se definen los problemas de rutas para encontrar la solución más eficiente
6	Propuesta de actualización de rutas de toma de lectura para mejora del proceso de facturación en el sector comercial 2 del distrito de sullana de la empresa EPS GRAU S.A en el año 2022	Fiestas, J., Panta, C. & Rosales, V. (2022)	Algoritmo Cartero chino	Se halla la ruta óptima por medio de georreferenciación de la ruta
7	Propuesta de mejora de las rutas de transporte para la recogida y entrega de productos de una empresa productora y comercializadora de gases industriales y medicinales	García, S. & Mendoza, W. (2018)	Observación, análisis y recolección de información	Se aplica el método de mejora continua a fin de optimizar la ruta de entrega existente
8	Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos considerando ventanas de tiempo y flota homogénea para una distribuidora de frutas de norte del valle	López, C. & Diaz, D. (2017)	Análisis estadístico de los operadores de entrega de frutas de la región	Se usa el NESO para programar las condiciones de entrega y rutas de los camiones y establecer la ruta óptima de entrega
9	Ruteo de vehículos refrigerantes y de tipo general para la entrega de múltiples productos perecederos	Galarcio, J (2017)	Análisis estadísticos	Uso de métodos meta heurísticos para hallar la solución de problema
10	Técnicas de programación lineal entera para la optimización de la recolección de residuos reciclables en el Municipio de Morón	Wesner, F. (2015)	Algoritmo Cartero chino	Uso de programación Lineal para resolver el problema del cartero chino
11	Propuesta de un modelo de distribución de vacunas considerando limitaciones de inventario en depósitos y puntos de entrega en el valle del cauca.	Messa, E & Sánchez, T. (2022)	Demanda agregada, Demanda desagregada	Se usa un modelo matemático estadístico para generar una estrategia que permita la toma de decisiones
12	Modelo de recolección de residuos sólidos basado en el Problema del Cartero Chino	Silva, J. & Ramírez, E. (2019)	Algoritmo Cartero chino	Uso del problema del cartero chino para optimizar la ruta actual de recolección de residuos sólidos
13	Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1: formulación del problema de estudio. Parte 1: formulación del problema	González, G. & Gozález, F. (2006)	Planteamiento matemático del problema	Uso de relaciones matemática de optimización para resolver el problema
14	The Hierarchical ChinesePostman Problem: the slightest disorder make sithard, yet disconnectedness manageable	Tsidulko, O., Van Bevern, R. & Vsevolod, A. (2021)	Algoritmo Cartero chino Jerarquizado	Se usa un algoritmo no programable para la solución de la mejor ruta con discriminación de ciertas aristas.
15	Solución de problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad usando la teoría de grafos	Correa, A., Cogollo, J. & Salazar, J. (2011)	Teoría de grafos	Se muestra la aplicación de una herramienta informática basada en la teoría de grafos.

Fuente: Datos extraídos de bibliografías que permitieron sustentar el modelo seleccionado para la toma de decisiones. **Elaboración propia (2023).**

De la revisión realizada a la literatura que se describe en la Tabla 5, se muestra que los temas asociados a la optimización de rutas o recorridos están basados en el algoritmo del cartero chino, en consecuencia, se llega a la conclusión que, el método que más se adapta a las particularidades del problema investigado es este algoritmo (Tsidulko, O. et al. 2021) de allí que sea este tipo de abordaje el que las investigadoras seleccionaron para dar solución a la problemática planteada en esta investigación.

Ahora bien, este algoritmo presenta las siguientes ventajas (Robusté 2005):

- a) Permite aprovechar la experiencia y la visión global, desde el primer momento de la modelización hasta la implantación práctica.
- b) Es especialmente útil en ciudades donde se carece de información geográfica digitalizada, hecho que se presenta muy a menudo.
- c) Los métodos de resolución exactos son inaplicables para grandes cantidades de arcos.

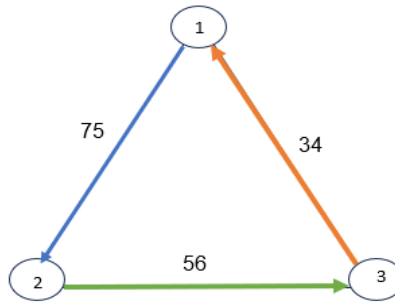
Puesto que el problema planteado en este trabajo consiste en encontrar una ruta más corta y eficiente para la entrega de facturas a los suscriptores de la compañía ASEPAILA, el instrumento que las investigadoras implementaron para hallar solución a la problemática planteada es el algoritmo del cartero chino. En la siguiente sección se describe brevemente los aspectos teóricos resaltantes de este algoritmo.

2.2.- Breve descripción del método del cartero chino

Todo problema que involucra recorrido o entrega de correspondencia obedece a un planteamiento de tipo matemático postulado por primera vez en el año 1962 por un matemático chino llamado Meigu Guan, quién planteó que se puede establecer la ruta menos larga o la ruta óptima en términos de tiempo y recorrido que puede realizar un cartero al estudiar las rutas posibles que el cartero puede recorrer. (Álvarez y Parra 2013).

La optimización de las rutas de entrega de facturas a los suscriptores mediante el algoritmo del cartero chino comienza por describir el camino como un dibujo denominado **grafo**, este grafo consiste en una entidad matemática que se define mediante dos parámetros, el **número de vértices o nodos** y la cantidad de **arcos** que conectan estos vértices o nodos (Pérez 2015):

Figura 5. Grafo

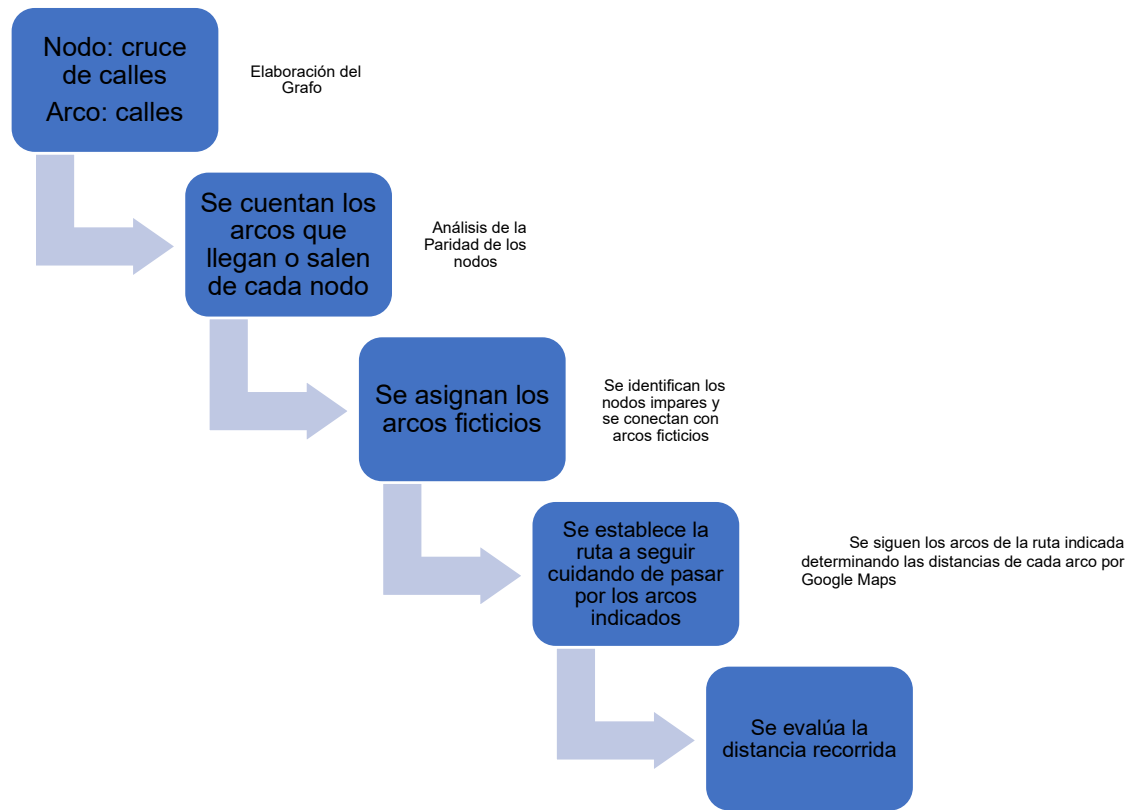


Fuente: Datos extraídos de bibliografías que permitieron establecer y describir el modelo del cartero chino. Elaboración propia (2023).

Los vértices o nodos están numerados en las esquinas del triángulo de la figura 5, los arcos son el recorrido de las flechas coloreadas, es de hacer notar que las flechas salen de un vértice y se dirigen a otro, esta característica se conoce como **grafo dirigido o dígrafo**. Por otro lado, los números en cada arco o flecha se denomina **peso asociado**, luego un grafo con esta característica se conoce como **grafo ponderado**, estos pesos asociados pueden asociarse a distancias, costos o cualquier otra cantidad que describa la connotación del problema bajo estudio (Gordon y Padilla 2019). Al realizar el recorrido descrito en la figura 5, se observa que al partir del nodo 1 y siguiendo las flechas se llega eventualmente al nodo 1 nuevamente, esta característica permite que al grafo se le llame **ciclo**, es decir un recorrido cerrado donde el recorrido comienza y termina en el mismo nodo.

Si cada arco se recorre una sola vez, el grafo se llama **euleriano** en caso que un arco se recorra más de una vez, el grafo se llama **no euleriano**. El peso total de un ciclo es la suma de los pesos de todos los arcos que se recorren (Wesner 2015). La secuencia de pasos que presenta el algoritmo del cartero chino se muestra en la figura 6, que se presenta a continuación:

Figura 6. Algoritmo del cartero chino



Fuente: Datos extraídos de bibliografías que permitieron establecer y describir el modelo del cartero chino. Elaboración propia (2023).

La secuencia de pasos que se describen en la figura 6, es la que se implementó para resolver la problemática planteada y alcanzar el logro de los objetivos específicos que plantea esta investigación. En las siguientes dos secciones se describen las rutas que siguen los trabajadores de ASEPAULA para entregar las facturas a los suscriptores del servicio de agua, además de una evaluación de las distancias que estas rutas presentan como una forma de describir la situación objeto de estudio y determinar el punto de partida del análisis de la problemática de este trabajo.

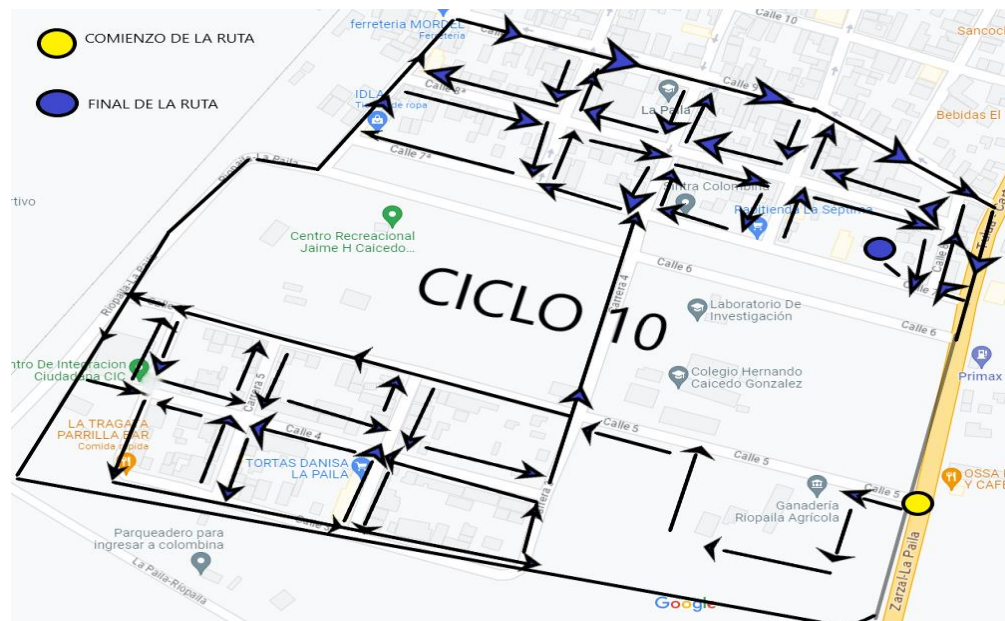
2.3. Estructura y/o distribución física y mapas de las rutas existentes en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAULA.

Para el establecimiento de las rutas de lectura y entrega de recibos se tienen en cuenta insumos tales como: recibos para la entrega, uniforme, gorra. Además, la información necesaria para diseñar la ruta es: informes de cambios de nombre, matriculas nuevas y usuarios inactivos. Asimismo, se tienen en cuenta únicamente los ciclos ya plasmados en el mapa y la experiencia de la operaria. El trabajador

entrega por manzanas siguiendo el sentido de las manecillas del reloj. El orden en que se realiza el proceso de facturación y lectura se hace ciclo por ciclo.

A continuación, se presenta desde la figura 7 a la figura 9, las rutas existentes en la empresa de servicios públicos de acueducto ubicada en el norte del valle del cauca ASEPAILA, correspondiente a cada ciclo.

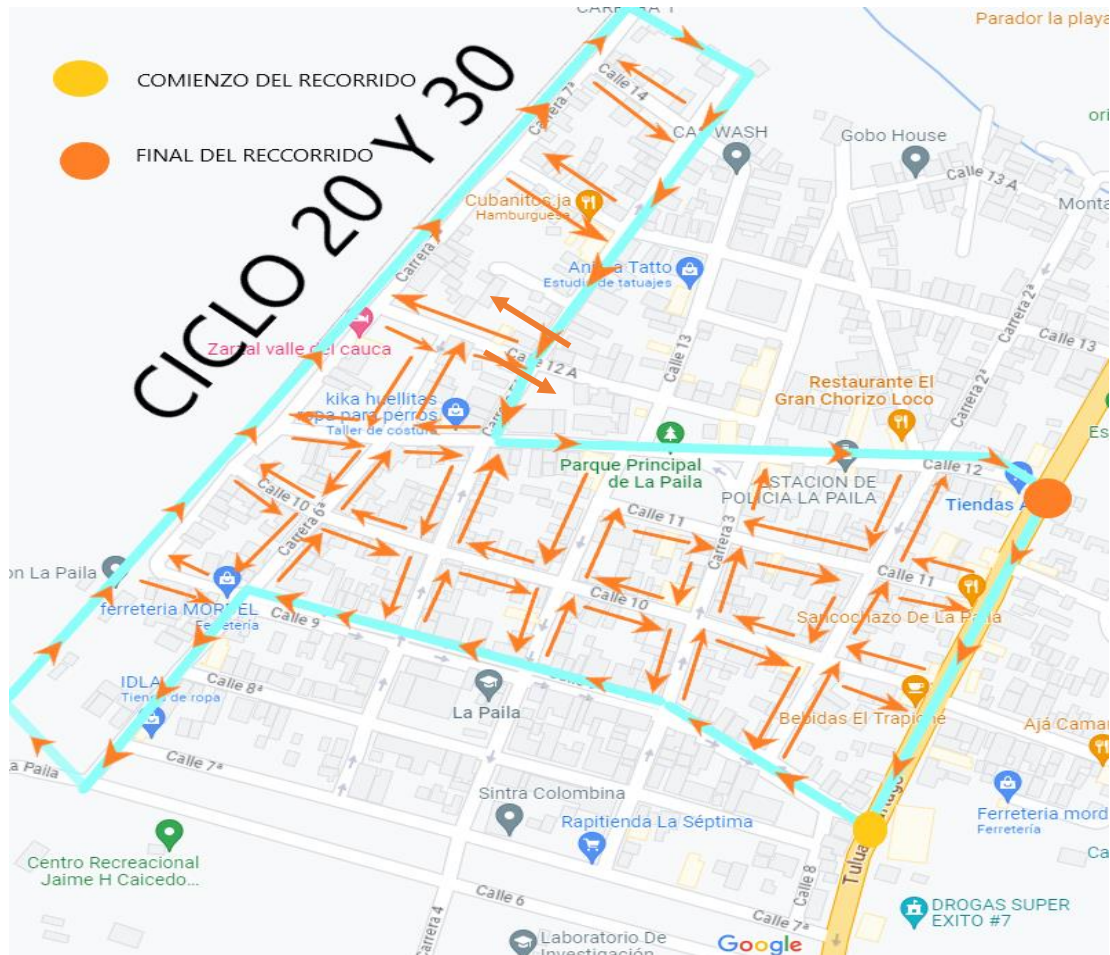
Figura 7. Recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por los trabajadores de la empresa Asepaila que permitieron establecer el recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas. Elaboración propia (2023).

La distancia total recorrida por el trabajador en el ciclo 10 es de 5225.62 metros. Es de hacer notar que este recorrido está basado en la experiencia del trabajador que realiza la entrega de las facturas del servicio de agua. Describiendo este tipo de recorrido, se tiene que al comenzar en un punto y terminar en otro punto diferente, en sentido estricto, no se tiene un **ciclo** teniendo presente las definiciones citadas al comienzo de este capítulo. También es importante señalar que, en algunos tramos de la ruta, se recorre más de una vez una sección del camino que sigue el trabajador, de modo que el grafo asociado a esta ruta es **no euleriano**. Estas características se tomarán en cuenta a la hora de definir el método y para la evaluación de la propuesta y su posterior evaluación comparativa con este recorrido.

Figura 8. Recorrido actual o existente del ciclo 20 Y 30 (parcial) para la entrega de facturas



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por los trabajadores de la empresa Asepaila que permitieron establecer el recorrido actual o existente del Ciclo 20 y 30 (parcial) para la entrega de facturas. Elaboración propia (2023).

El recorrido total realizado por el trabajador en el ciclo 20 y 30 (parcial) es de 7205,74 m. Al igual que el recorrido realizado por el trabajador en el ciclo 10, el recorrido no es **cíclico** y **no euleriano**. Sin embargo, cabe señalar que este recorrido, incluye parte del ciclo 30, esta parte es el barrio Rafael González II, según el trabajador este sector se incluye en el recorrido por razones de cercanía con las secciones a ser atendidas en la ruta correspondiente al segundo día, recorriendo un total de 20 manzanas.

Figura 9. Recorrido actual o existente del ciclo 30 y 40 para la entrega de facturas

CICLOS 30 Y 40



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por los trabajadores de la empresa Asepaila que permitieron establecer el recorrido actual o existente de los Ciclos 30 (parcial) y 40 para la entrega de facturas. Elaboración propia (2023).

El recorrido total realizado por el trabajador en este ciclo 30 (parcial) y 40 es de 8709.38 m. Este recorrido final correspondiente al tercer día de entrega incluye los barrios Santa Bárbara y villa del Sol del ciclo 30 y los barrios Santa Rita, La Frutera y Villa del Río del ciclo 40. Es de hacer notar que en ciertas zonas no hay casas y en otras zonas las casas se encuentran muy alejadas entre sí. De allí que este último recorrido representa el que más esfuerzo requiere por parte del trabajador.

2.4. Descripción de las distancias recorridas y tiempo empleado por ciclo de entrega de facturas en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.

En la tabla 6, se describe la distancia y el tiempo que le toma al trabajador realizar la entrega en cada ciclo indicado. Además, se muestra el tiempo total que le toma al trabajador durante los tres días de trabajo dedicado a la actividad de entrega de facturas:

Tabla 6. Distancias recorridas y tiempo empleado por ciclo de entrega de facturas

Ciclo	Distancia recorrida (en metros)	Tiempo de recorrido (en horas)
10	5225.62	9
20	7205,74	8
30		
30	8709.38	9
40		
Total	21140,74	26

Fuente: Datos extraídos de información suministrada por los trabajadores de la empresa Asepaila que permitieron establecer las distancias recorridas y tiempo empleado por ciclo de entrega de facturas. Elaboración propia (2023).

Se ha descrito la forma en la que se realiza la labor del trabajador que entrega las facturas generadas por la empresa ASEPAILA para el cobro por servicio de agua y alcantarillado. Se definió teóricamente un método de toma de decisión para la asignación y secuenciación de ruta a partir de un análisis de revisión de la literatura. Posteriormente, esta información servirá de base para la evaluación de las rutas actuales que sigue el trabajador, al realizar este contraste, se podrá hacer una propuesta de optimización de rutas para el tiempo de entrega de facturas en la empresa de servicios públicos de acueducto ubicada en el norte del Valle del Cauca, que permita disminuir el tiempo de entrega de las facturas y reduzca la distancia recorrida por el trabajador.

2.5. Aplicación del método del cartero chino por ciclo para la entrega de facturas en la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA.

Ahora bien, establecer la mejor ruta a recorrer, o definir la ruta óptima, es aquella que toma menos tiempo y en consecuencia menos distancia y esfuerzo requiere establecer parámetros que puedan ser usados como insumos para definir el problema de optimización de una forma clara y que el método matemático conlleve

a una solución práctica y eficiente (Basán 2018). En este sentido, la forma en la que se implementó el algoritmo del cartero chino fue la siguiente:

Paso 1: Elaboración del grafo

Estableciendo que cada cruce de las calles se modela como un nodo y las calles que conectan los nodos se asocian un peso asociado con la distancia a recorrer por el trabajador. La forma en la que se definen los nodos en el grafo corresponde a los cruces de las calles de los barrios Belisario Caicedo y Santa Cecilia que conforman el ciclo 10, como se muestra en la figura 10:

Figura 10. Grafo asociado al ciclo 10. Nodos y arcos



Fuente: Mapa de la Paila Ciclo 10 de Open Street Maps. Nodos y arcos de elaboración propia (2023).

En el grafo que se muestra en la figura 10, se describen los nodos numerados en negro, los arcos que unen los nodos están en amarillo. Los cruces que conforman los nodos se determinan de la siguiente forma: nodo 1: cruce de calle 5 con carrera 4, nodo 2: cruce calle 4 con carrera 3, y así sucesivamente, de esta manera se establecen los nodos en el grafo. Por otro lado, los arcos se asocian a las calles que conectan los cruces. A continuación, se establece en el paso siguiente la paridad de los nodos.

Paso 2: Análisis de la paridad de los nodos

Para establecer la paridad de los nodos se cuentan cuantos arcos conectan los nodos del grafo, al contar el número de arcos se obtiene uno de dos posibles resultados, par o impar. En la tabla 7, se muestra para los nodos del grafo mostrado en la figura 10 el número de arcos que conectan al nodo y la paridad correspondiente:

Tabla 7. Paridad de los nodos del grafo asociado al ciclo 10

Nodo	Número de arcos	Paridad
A	1	IMPAR
1	4	PAR
2	3	IMPAR
3	2	PAR
4	3	IMPAR
5	4	PAR
6	3	IMPAR
7	3	IMPAR
8	4	PAR
9	3	IMPAR
10	2	PAR
11	3	IMPAR
12	2	PAR
13	4	PAR
14	3	IMPAR
15	3	IMPAR
16	2	PAR
17	2	PAR
18	3	IMPAR
19	3	IMPAR
20	4	PAR
21	3	IMPAR
22	3	IMPAR
23	4	PAR
24	3	IMPAR
25	4	PAR
26	3	IMPAR
27	2	PAR
28	3	IMPAR
29	2	PAR

Fuente: Elaboración Propia.

Paso 3: Eulerización del grafo

Una vez que se han identificado la paridad de cada nodo, se procede a **eulerizar** el grafo agregando arcos ficticios que cambian la paridad de los nodos impares, en la figura 11, se muestran en verde los arcos ficticios que conectan a nodos impares. Es de hacer notar que hay arcos que conectan a nodos que eran pares, esto es necesario puesto que al conectar un nodo impar como el 11 con el nodo 8, la paridad de este último cambia, en consecuencia, es necesario agregar otro arco ficticio de forma que los nodos vuelvan a ser par.

Figura 11. Grafo ciclo 10 eulerizado



Fuente: Mapa de la Paila Ciclo 10 de Open Street Maps. Nodos y arcos ficticios de elaboración propia (2023).

Se muestran en la figura 11, los arcos ficticios necesarios para que el grafo contenga solo nodos pares. A continuación, se establece un ciclo que recorra todos los arcos del grafo:

Paso 4: Se establece la ruta de recorrido

Ahora bien, el recorrido **eulerizado** que se muestra en el grafo que aparece en la figura 11, se describe en la siguiente secuencia:

A-1-6-7-12-11-10-9-4-9-8-11-8-5-8-7-6-5-4-3-2-5-2-1-13-24-25-24-29-28-25-28-27-26-25-26-22-23-13-14-20-23-20-21-22-21-18-17-16-15-19-18-19-20-19-15-14-A

Las distancias entre nodos que se muestran en el grafo del ciclo 10 se presentan en la siguiente Tabla 8. Estas distancias se evaluaron por medio de Google Maps.

Tabla 8. Distancias en metros entre los nodos del grafo asociado al ciclo 10

Nodos	Distancia (m)
1 y 2	76
2 y 5	117,4
2 y 3	74
3 y 4	117,4
4 y 5	74
5 y 8	105,6
5 y 6	77
5 y 2	122,45
6 y 7	105,6
7 y 8	73
8 y 11	70
9 y 4	105,6
8 y 9	74
9 y 10	70
10 y 11	70
7 y 12	105,6
11 y 12	77
1 y 13	186
13 y 24	78,80
13 y 14	82
13 y 23	63,27
14 y 15	113
14 y 20	58,21
15 y 16	25,5
16 y 17	78
17 y 18	21
18 y 19	24
15 y 19	53
19 y 20	115
20 y 21	44
21 y 18	119,66
20 y 23	82
21 y 22	82
22 y 23	21
22 y 26	78,45
23 y 25	72
25 y 24	55
26 y 27	93
27 y 28	51

28 y 25	113
25 y 26	48
28 y 29	54
29 y 24	127
A y 1	243,2
14 y A	249.32

Fuente: Elaboración propia (2023).

Paso 5: Evaluación del recorrido

El recorrido mostrado en el paso 4 representa una distancia total de 4685.83 metros, medido usando la tabla de distancias correspondiente a la tabla 8. Un parámetro para poder evaluar este recorrido es el tiempo que le toma al trabajador realizarlo de forma continua. Así que, si se considera la edad del trabajador y la velocidad promedio a la que se puede mover caminando que es de aproximadamente 1.44 m/s (Agudelo 2013), el tiempo que le toma al realizar el recorrido **eulerizado** es de:

$$\begin{aligned}
 \text{tiempo} &= \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}_{\text{caminante}}} = \frac{4685.83 \text{ metros}}{1.44 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}}} \approx 3254.05 \text{ seg} = 0.9 \text{ horas} \\
 &\approx 54 \text{ min}
 \end{aligned}$$

En el capítulo 3, se realizará una evaluación comparativa entre los datos del recorrido que actualmente es realizado por los trabajadores de ASEPAULA y los datos que aplicando el algoritmo del cartero chino provee. Es de hacer notar que para obtener el recorrido mostrado para el ciclo 10, se realizaron varios intentos recorriendo cada calle y pasando por cada nodo hasta llegar a este recorrido, de modo que si bien es cierto este recorrido no es el óptimo, sin embargo, como se mostró, representa una mejora significativa en la distancia recorrida desde el punto de vista teórico. Para los ciclos restantes se realiza el mismo tratamiento realizado al ciclo 10 considerando los mismos pasos de modo que a continuación se presentan los resultados.

Figura 12. Grafo del ciclo 20 y 30 (parcial). Segundo día de recorrido



Fuente: Elaboración propia (2023).

Ahora bien, el recorrido **eulerizado** que se muestra en el grafo se describe en la siguiente secuencia:

1-2-3-4-5-6-7-8-6-9-10-31-6-9-10-11-30-21-32-31-30-19-12-11-12-13-14-15-16-17-14-17-18-13-18-20-19-20-21-32-5-4-33-29-22-23-29-28-34-3-2-35-27-24-25-26-36-26-36-1

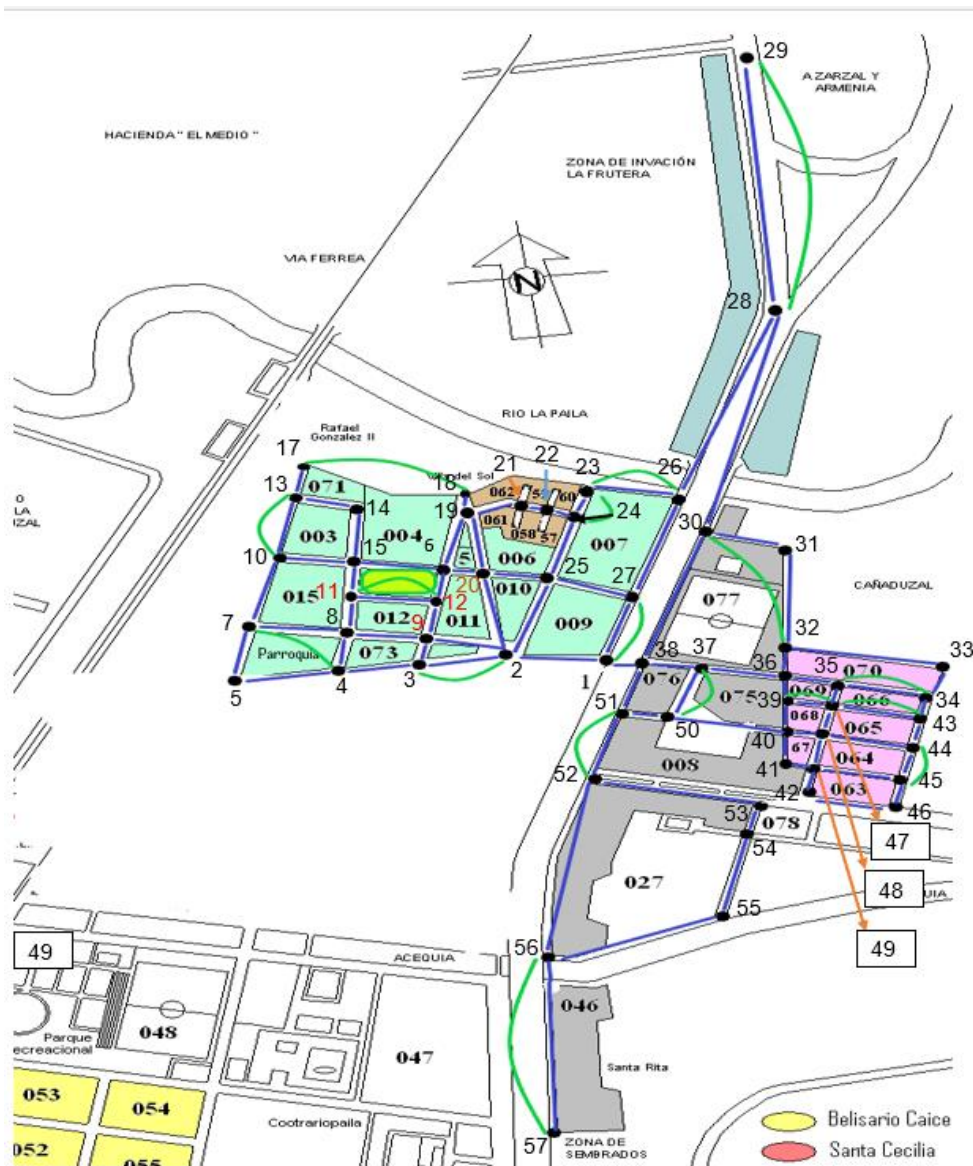
Esta ruta representa una distancia total de 5020 metros, luego si se considera la edad del trabajador y la velocidad promedio a la que se puede mover caminando que es de aproximadamente 1.44 m/s, el tiempo que le toma al realizar el recorrido **eulerizado** es de:

$$\text{tiempo} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}_{\text{caminante}}} = \frac{5020 \text{ metros}}{1.44 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}}} \approx 3486.11 \text{ seg} = 0.97 \text{ horas}$$

$$\approx 58.2 \text{ min}$$

Para el tercer día de recorrido se tiene que:

Figura 13. Grafo del ciclo 30 (parcial) y 40 completo. Tercer día de recorrido



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por la gerencia de la empresa Asepaila.
Elaboración propia (2023).

Ahora bien, el recorrido **eulerizado** que se muestra en el grafo se describe en la siguiente secuencia:

1-2-3-4-5-6-7-8-4-7-10-13-17-18-19-16-15-14-13-10-15-11-12-11-8-9-3-2-9-12-16-20-19-21-22-24-23-26-23-24-25-27-1-27-26-28-38-37-50-37-36-32-33-34-35-34-43-47-39-36-35-47-39-47-43-44-48-40-41-49-45-46-42-49-41-40-50-51-52-53-54-55-56-57-56-52-51-38-1

Para diseñar esta ruta se dejaron fuera el recorrido entre los nodos 28 y 29 ya que en este recorrido no hay suscriptores. Por otro lado, el recorrido que considera los nodos 30, 31 y 32 tampoco presentan suscriptores ya que este recorrido incluye el estadio “Jaime H. Caicedo”. La distancia total del recorrido 7743.31 metros, luego si se considera la edad del trabajador y la velocidad promedio a la que se puede mover caminando que es de aproximadamente 1.44 m/s, el tiempo que le toma al realizar el recorrido **eulerizado** es de:

$$tiempo = \frac{distancia}{velocidad_{caminante}} = \frac{7743.31 \text{ metros}}{1.44 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}}} \approx 5377.3 \text{ seg} = 1.5 \text{ horas}$$

$$\approx 90 \text{ min}$$

Una vez presentado el proceso de aplicación del algoritmo del cartero chino a las rutas que actualmente recorren los empleados de ASEPAULA para la entrega de las facturas de consumo del servicio a los suscriptores se procede a evaluar la eficacia del modelo encontrado, en el siguiente capítulo se expone la evaluación del método.

Evaluación del método propuesto a partir de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las características de operación de la situación actual.

En esta sección, se evalúa el algoritmo presentado en el capítulo 2. Como parámetro de evaluación se valida el algoritmo en función de las distancias que se generan al aplicar el algoritmo del cartero chino, de allí que se realiza una comparación en términos de los trayectos recorridos actualmente por los trabajadores de ASEPAILA y los trayectos o distancias que se generan al seguir la ruta teórica generada por medio del algoritmo.

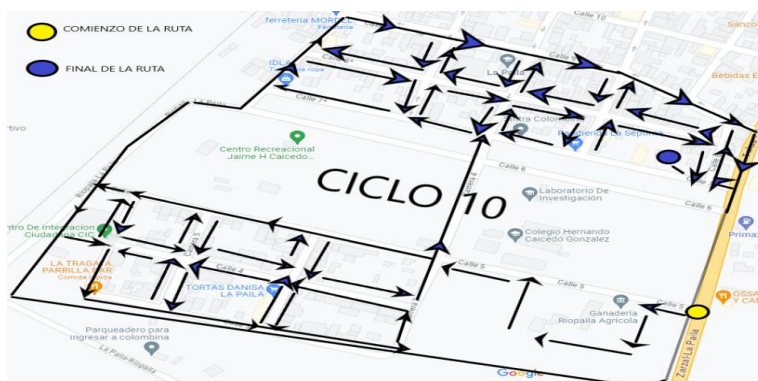
Tabla 9. Parámetro de evaluación por el método generado y comparación porcentual de disminución en las distancias recorridas

Día	Ciclo	Distancia actual (mts.)	Distancia propuesta (mts.)	Disminución porcentual
1	10	5225.62	4685.83	10.33%
2	20 y 30	7205.74	5020	30.33%
3	30 y 40	8709.38	7743.31	11.09%
	Totales	21140.74	17449.14	17.46%

Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 14 se muestra el recorrido actual que realizan los trabajadores de ASEPAILA para la entrega de las facturas del servicio, se puede apreciar el recorrido de las calles y carreras asociadas al ciclo 10, en esta ruta se recorre algunas calles (por ejemplo, la calle 4 de la figura 14) dos veces.

Figura 14. Recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas



Fuente: Datos extraídos de información suministrada por los trabajadores de la empresa Asepaila que permitieron establecer el recorrido actual o existente del ciclo 10 para la entrega de facturas. Elaboración propia (2023).

En contraste se describe en la figura 15, el recorrido propuesto aplicando el algoritmo del cartero chino, para este recorrido hay secciones de la ruta (por ejemplo, la carrera 4 de la figura 15) que solo se recorren una vez.

Figura 15. Recorrido generado al aplicar el algoritmo del cartero chino



Fuente: Mapa de la Paila Ciclo 10 de Open Street Maps. Recorrido generado al aplicar el método del cartero chino (2023).

En la Tabla 9 se muestra la totalidad de la distancia actual recorrida por los trabajadores de ASEPAILA, esta distancia es de **21140.74** metros (ver figura 14), la distancia propuesta aplicando el algoritmo del cartero chino es de **17449.14** metros (ver figura 15), estableciéndose una disminución del recorrido teórico total en comparación con el recorrido actual de **3691.6** metros, esto representa una disminución de aproximadamente de **17.46%** entre el recorrido generado por la aplicación del algoritmo del cartero chino y el recorrido que actualmente realizan los trabajadores de ASEPAILA para la entrega de facturas. En la siguiente Tabla 10, se muestra el análisis realizado, en función del tiempo, que emplean los trabajadores usando la velocidad de recorrido señalada en el capítulo 2

Tabla 10. Parámetro de evaluación del método generado, comparación de distancias y disminución de tiempo del recorrido

Día	Ciclo	Distancia actual (mts.)	Distancia propuesta (mts.)	Disminución de tiempo del recorrido
1	10	5225.62	4685.83	6.25 minutos
2	20 y 30	7205.74	5020	25.29 minutos
3	30 y 40	8709.38	7743.31	11.18 minutos
	Totales	21140.74	17449.14	42.72 minutos

Fuente: Elaboración propia (2023).

La diferencia de la distancia total recorrida es de **3691.6** metros, tal como se evidencia en las tablas 9 y 10, en consecuencia, se genera una disminución de tiempo total del recorrido de **42.72** minutos en comparación del tiempo actual de ruta que invierte el trabajador en repartir las facturas. Una proyección anual del tiempo que se ahorra para el recorrido propuesto por medio del algoritmo del cartero chino, sería de **8.54** horas menos que invertiría el trabajador en repartir las facturas, representando un ahorro de tiempo y recursos para la empresa.

Cabe mencionar, que solo se toma en consideración, como parámetro para la evaluación del desempeño de los trabajadores de ASEPAILA, en cuanto a la entrega de facturas, la distancia recorrida por los trabajadores ya que ellos no se desplazan por otros medios (transporte público, vehículos propios, entre otros). En este sentido, la manera de determinar la validez del método propuesto es a través de las distancias generadas al aplicar el algoritmo del cartero chino, de modo que las rutas propuestas en el método son significativamente menores y proporcionan un recorrido de menor tiempo, estableciendo, teóricamente al menos, una forma más eficiente para la entrega de facturas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio, se destaca la importancia del diseño de rutas más eficiente para la entrega de facturas de ASEPAILA en el corregimiento La Paila como un proceso crucial para la reducción de costos. Se devela la importancia de recurrir a la revisión de investigaciones previas que han propuesto soluciones para mejorar aspectos como distancias, costos y calidad del servicio al cliente en operaciones similares. Se realiza una caracterización del sistema actual, centrándose en parámetros como la distancia recorrida por los trabajadores y el tiempo dedicado a la tarea, para establecer la validez de los resultados. El abordaje señalado, provee un punto de partida para un análisis más detallado y profundo de la problemática, facilitando la aplicación de técnicas de análisis de grafos, con la cual se puede obtener rutas más eficientes y con menos tiempo de recorrido.

Con relación al diagnóstico del proceso de lectura de servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto al caso de estudio, se concluye que el diagnóstico implica, por una parte, la evaluación detallada del desempeño a los trabajadores de la empresa ASEPAILA en cuanto al proceso de entrega de las facturas del servicio, es decir el estado presente con el que la empresa actualmente lleva a cabo este proceso, con el objetivo de determinar las oportunidades y amenazas que se presentan o que van a presentarse. Por otra parte, entrevistas con personal de la gerencia de la empresa, así como a través de observación directa, se pudo constatar que en la actualidad el proceso de lectura del servicio y reparto de facturas que tiene la empresa de servicios públicos de acueducto ASEPAILA, evidencia debilidades y fallas operacionales, afectando directamente su desempeño, competitividad y optimización de rutas para la entrega de facturas.

Para el logro del segundo objetivo específico, se establece como método el algoritmo del cartero chino, luego de realizar una profunda y extensa revisión bibliográfica que sustenta la selección de esta metodología para el abordaje y solución de la problemática planteada en el trabajo. Al aplicar el método del cartero chino, se describen los nodos como los cruces de las calles y los arcos como las calles del corregimiento de la Paila, para encontrar un camino más eficiente, se conectan los nodos impares por medio de arcos ficticios, esto genera un recorrido que recubre el territorio de cada ciclo (ver sección 2.5 del capítulo 2 de este trabajo) en menor cantidad de recorridos, puesto que las calles y carreras se recorren solo una vez en el método del cartero chino (ver figuras 14 y 15 del capítulo 3 para comparar los recorridos) . El recorrido propuesto en la figura 15 del capítulo 3, se obtiene aplicando los pasos descritos en la sección 2.5 del capítulo 2, donde se aplicó esta metodología, requiriendo varios intentos, hasta conseguir el recorrido presentado en la figura 15 del capítulo 2, este recorrido presenta las siguientes características: menor distancia recorrida, puesto que hay secciones que no se recorren dos veces (para una comparación véase las figuras 14 y 15 del capítulo 2) la ruta generada por el método del cartero chino ofrece ventajas de recorrido en contraste con la ruta actual que es realizada por los trabajadores de ASEPAILA.

Al realizar la evaluación de los resultados, para alcanzar el objetivo específico tres, se revela una reducción significativa del **17.46%** en las distancias de desplazamiento. En la tabla 9, se hace una comparación entre las distancias recorridas actualmente y las distancias generadas al aplicar el algoritmo del cartero chino, la comparación se realiza por cada día de recorrido y se muestra la disminución que se obtiene en los recorridos por día. Como consecuencia esta reducción se traduce en una disminución de **42.72 minutos** en el tiempo necesario para la entrega de facturas en comparación con el método actual, esto significa que es posible encontrar, en teoría una ruta más eficiente para realizar una entrega con menor cantidad de esfuerzo realizado por el trabajador.

De las evidencias anteriores, se lograron plantear una serie de recomendaciones; las cuales están asociadas con la clasificación de las rutas que actualmente siguen los trabajadores de ASEPAILA, específicamente, georreferenciar las calles, y cruces de La Paila y así generar una base de datos que sirvan para aplicar métodos de programación, más elaborados (ejemplo PGRoutin de Qgis) que formen rutas alternativas a las propuestas en este trabajo y que se puedan evaluar de una forma más rigurosa y formal. En el **Anexo F** se describe una propuesta para el recorrido actualmente realizado por los trabajadores que contempla la entrega de las facturas en dos días en vez de tres ([Ver Anexo F](#)).

Finalmente, para la continuidad de este trabajo se sugiere aplicar el algoritmo del cartero chino, generar rutas alternas a las propuestas y evaluarlas en términos de distancia y tiempo, desde el punto de vista teórico y así escoger aquella que sea la mejor, es decir la ruta óptima que permita establecer una ruta de menor distancia y menor tiempo que el trabajador pueda seguir para realizar su trabajo de la mejor forma. Por otro lado, en vista que el corregimiento La Paila es una población que propende a crecer en su área urbana, un trabajo a futuro sería, una vez definida el área, extender el análisis de las rutas a seguir por los trabajadores usando como referencia lo realizado en este trabajo, para así determinar la mejor ruta y la más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo Mendoza, A. I., Briñez Santamaria, T. J., Guarín Urrego, V., Ruiz Restrepo, J. P., & Zapata García, M. C. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *CES Movimiento Y Salud*, 1(1), 29–43. Recuperado a partir de <https://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/article/view/2481>
- Alcana M., Gómez, D. & Santana, N. (2018). Técnicas para la elaboración de perfiles de puestos de trabajo basados en competencias para orientar el direccionamiento del recurso humano. Universidad EAN. Programa De Administración De Empresas A Distancia Bogotá, D.C.
- Álvarez, R. & Rioja, C. (2016). Optimización del proceso de distribución de la facturación y la satisfacción al cliente de la empresa américa Móvil Perú S.A. 2016. Universidad Privada del Norte. Facultad De Negocios Carrera De Administración De Empresas. Lima, Perú.
- Álvarez, M. & Parra J. (2013). Teoría de Grafos. Universidad del Bío – Bío, Facultad de Humanidades, escuela de Pedagogía en Educación Media. Chillán, Chile
- Basán, N. (2018) Modelos Avanzados de Optimización para la Gestión Eficiente de Procesos de Producción Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina
- Correa Espinal, A, Cogollo Flores, J y Salazar López, J. (2011). Solución de problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad usando la teoría de grafos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia.
- Fiestas, J., Panta, C. & Rosales, V. (2022). Propuesta de actualización de rutas de toma de lectura para mejora del proceso de facturación en el sector comercial 2 del distrito de sullana de la empresa EPS GRAU S.A en el año 2022. Universidad Nacional De Piura Facultad De Ingeniería Industrial Escuela Profesional De Ingeniería Industrial Programa De Actualización Para Titulación Profesional En La Especialidad De Ingeniería Industrial, Versión Xxxvi-2021-2.
- Galarcio, J (2017) Ruteo de vehículos refrigerantes y de tipo general para la entrega de múltiples productos perecederos. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial, Montería, Colombia.
- García, S. & Mendoza, W. (2018). Propuesta de mejora de las rutas de transporte para la recogida y entrega de productos de una empresa productora y comercializadora de gases industriales y medicinales. Universidad Católica De Pereira Facultad De Ciencias Básicas E Ingeniería Industrial Pereira, Risaralda.

- González, G. & González, F. (2006) Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1: formulación del problema de estudio. Parte 1: formulación del problema, Revista Ingeniería e Investigación vol. 26 no.3, diciembre de 2006, P.p (149-156), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia
- Gordon, K. & Padilla, M. (2019). Optimización de rutas de lecturas de consumo de agua potable para el sistema de recaudación del gad guano utilizando pgouting en QGIS. Universidad Nacional De Chimborazo Facultad De Ingeniería. Riobamba – Ecuador.
- Henao, B. & Piedrahita, J. (2015) Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de zarzal valle del cauca. Universidad Del Valle Facultad De Ingeniería Escuela De Ingeniería Industrial Programa De Ingeniería Industrial Zarzal. Zarzal, Colombia.
- Hernández, R.; Fernández, S. y Baptista, P. (2018). Metodología de la Investigación. McGRAW-HILL / Interamericana editores, S.A. DE C.V. México D.F.
- Informe anual de la empresa Asepaila (2022).
- López, C. & Diaz, D. (2017). Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos considerando ventanas de tiempo y flota homogénea para una distribuidora de frutas de norte del valle. Universidad Del Valle Facultad De Ingeniería Escuela De Ingeniería Industrial Programa De Ingeniería Industrial Zarzal. Zarzal, Colombia
- Martínez, M. (2012) Fundamentos y aplicaciones de la teoría de grafos. Grafos eulerianos y hamiltonianos. Diagramas en árbol. (2ª Parte), Publicaciones Didácticas, N° 28, agosto, Pp. (132-137) consultado en el [enlace](#).
- Messa, E. & Sánchez, T. (2022) Propuesta de un modelo de distribución de vacunas considerando limitaciones de inventario en depósitos y puntos de entrega en el valle del cauca. Universidad valle del Cauca, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial, Zarzal, Colombia.
- Robusté, F. (2005) Logística del Transporte, Ediciones UPC, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Silva, J. & Ramírez, E. (2019) Modelo de recolección de residuos sólidos basado en el problema de cartero chino. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. VI, núm. 23, 2019, pp. 7-22. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Tsidulko, O., Van Bevern, R. & Vsevolod, A. (2021) The Hierarchical Chinese Postman Problem: the lightest disorder makes it hard, yet disconnectedness is manageable, <https://arxiv.org/abs/2011.04022>, Cornell University, Ithaca, U.S.A.

Wesner, F. (2015). Técnicas de programación lineal entera para la optimización de la recolección de residuos reciclables en el Municipio de Morón. Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Computación. Buenos Aires Argentina.

Yordá, J. (2015) El Problema del Cartero Chino, Universidad de Santiago de Compostela, Máster Interuniversitario en Técnicas Estadísticas, Santiago de Compostela, La Coruña, España.

<https://asepaila.com/about-us/>

https://www.citypopulation.de/en/colombia/valledelcauca/zarzal/76895002_la_paila/