

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PROGRAMACIÓN DE ENTREGAS
DE PAQUETES CON VENTANAS DE TIEMPO EN UNA EMPRESA DE
MENSAJERÍA**

DANIELA QUINTERO RENDÓN

DANIELA LOZANO VALENCIA



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUADALAJARA DE BUGA

2025

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PROGRAMACIÓN DE ENTREGAS
DE PAQUETES CON VENTANAS DE TIEMPO EN UNA EMPRESA DE
MENSAJERÍA**

DANIELA LOZANO VALENCIA

DANIELA QUINTERO RENDÓN

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Industrial**

Director:

PhD. JULIO CÉSAR LONDOÑO ORTEGA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUADALAJARA DE BUGA

2025

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3.	OBJETIVOS.....	6
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
4.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
5.	DESARROLLO METODOLÓGICO	10
5.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS ACTUALES DE DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES. 10	
5.1.1.	Clientes.....	11
5.1.2.	Oficina de despacho.....	12
5.1.3.	Vehículo.....	13
5.1.4.	Vías.....	13
5.1.5.	Proceso de organización de ruta.....	14
5.1.6.	Procesos de Verificación.....	15
5.2.	ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DETALLADA Y SISTEMÁTICA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES QUE INCORPORA CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS DE LAS VENTANAS DE TIEMPO DE LOS CLIENTES.....	16
5.2.1.	Cartero Chino Recorrido central.....	17
5.2.2.	Construcción del Modelo para las Zonas 1 y 2.....	19
5.2.3.	Propuesta metodológica.....	25
5.3.	EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PAQUETERÍA VERIFICANDO MEJORAS EN EL PROCESO.....	26
5.3.1.	Método actual de distribución.....	26
5.3.2.	Metodología propuesta.....	27
6.	RESULTADOS.....	28
7.	CONCLUSIONES.....	30
8.	ANEXOS.....	32
9.	BIBLIOGRAFÍA	53

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Árbol de problemas	5
Ilustración 2: Elementos del sistema	10
Ilustración 3: Ubicación de los clientes.....	12
Ilustración 4: Zonas de distribución.....	14
Ilustración 5: Grafo zona central.....	18
Ilustración 6: Grafo cartero chino zona 1	19
Ilustración 7. Grafo cartero chino zona 2.....	19
Ilustración 8. Distancia recorrida (km)	28
Ilustración 9. Tiempo de recorrido (h)	28

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de clientes fijos.	32
Anexo 2. Clientes zona centro.	33
Anexo 3. Grados de los nodos.	33
Anexo 4. Aristas por nodo grafo central.	33
Anexo 5. Secuencia cartero chino zona 1	34
Anexo 6. Secuencia cartero chino zona 2.	35
Anexo 7. Clientes Zona 1.....	36
Anexo 8. Clientes zona 2	37
Anexo 9. Ruta zona 1.....	37
Anexo 10. Ruta zona 2.....	38
Anexo 11. Ventanas de tiempo zona 1.....	40
Anexo 12. Ventanas de tiempo zona 2.....	40
Anexo 13. Devoluciones rutas de la empresa.	42
Anexo 14. Cálculo de fi.	43
Anexo 15. Matriz de distancias zona 1.	44
Anexo 16. Matriz de tiempos zona 1.	45
Anexo 17. Matriz de distancias zona 2.	45
Anexo 18. Matriz de tiempos zona 2.	46
Anexo 19. Ruta de la empresa zona norte.....	46
Anexo 20. Ruta de la empresa zona centro.	48
Anexo 21. Ruta de la empresa zona sur.	50
Anexo 22. Instructivo solver.....	52

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas de ruteo vehicular (*Vehicle Routing Problem*, VRP) constituyen un área fundamental dentro del marco de la logística, ya que se encargan de la planificación y optimización de la entrega de bienes o servicios sobre una flota de vehículos (Jozefowicz et al., 2008). En este sentido, las numerosas variantes que han sido sometidas a estudio en relación con los problemas de VRP, han dado lugar a la creación de modelos y heurísticas que buscan mejorar la eficiencia operativa en distintos contextos (Moura, 2019).

Por lo tanto, el objetivo de la investigación es desarrollar una metodología de ruteo para una empresa de mensajería que permita mejorar la distribución de paquetes y reducir la cantidad de devoluciones por incumplimiento de las ventanas de tiempo. Para ello, se parte del análisis del método actual de distribución utilizado por la empresa y se identifican las principales deficiencias en su ejecución.

A partir de la revisión de la literatura sobre VRP y sus variantes, se seleccionan dos enfoques que se ajustan a las características del problema: el Problema del Cartero Chino Dirigido (DCPP) y el Problema del Viajante Abierto con Ventanas de Tiempo (OTSPTW). La combinación de estos modelos permite integrar las necesidades específicas de la situación.

La metodología propuesta será validada a través de simulaciones que comparan su desempeño frente al sistema actual de ruteo empírico. Este trabajo busca aportar una herramienta práctica para la empresa, basada en fundamentos teóricos y orientada a la mejora de su gestión logística.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem*, VRP) constituye una de las temáticas centrales en el ámbito del mejoramiento logístico. Este se basa en la determinación de rutas para uno o más vehículos que parten desde un centro de distribución (depósito), recorren un conjunto de clientes geográficamente distribuidos y retornan al punto de origen. Estas rutas pueden planificarse para distintos fines, tales como la entrega o recolección de productos, transporte de personas o distribución de mercancías (Han et al., 2020).

El VRP pertenece a la categoría de problemas de optimización combinatoria de tipo *NP-Hard*, lo que implica que su complejidad crece exponencialmente conforme aumenta el número de nodos o clientes involucrados (Feng et al., 2022). Esta característica conlleva a la necesidad de utilizar métodos heurísticos o metaheurísticos para su resolución. Asimismo, el VRP presenta múltiples variantes, definidas en función de restricciones adicionales como la capacidad de carga de los vehículos, el número de unidades disponibles, o las ventanas de tiempo establecidas para la atención a los clientes (Orlando & Rivera, 2007). Cada una de estas variantes responde a objetivos específicos, orientados a la mejora de la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente y la reducción de costos logísticos (Guasmayan Guasmayan, 2014).

Una de las versiones más estudiadas es el *problema del agente viajero* (*Traveling Salesman Problem*, TSP), que busca determinar el recorrido más corto para visitar un conjunto de nodos partiendo y regresando al punto de origen, sin repetir ubicaciones. Este recorrido, denominado *Ciclo Hamiltoniano*, tiene como objetivo principal la minimización del costo total de viaje (Nagothanekar et al., 2022). Este problema es ampliamente observable en empresas de mensajería y paquetería, donde los vehículos deben recorrer múltiples destinos y retornar al centro de distribución (Dantzig et al., 1954).

En este contexto, una empresa que recibe paquetes y cartas a nivel nacional los cuales son distribuidos en el municipio, presentan encomiendas dirigidas en un 20% a personas

naturales, 50% a entidades privadas y 30% a entidades públicas; los clientes naturales regularmente son esporádicos, ya que los paquetes a entregar suelen ser de procedencia de compras online. Actualmente, la empresa tiene 7 personas que se distribuyen las funciones así: 4 empleados se enfocan en recibir, clasificar (*según la zona: Norte, Centro y Sur*) y despachar (2 se encargan de las cartas y 2 de los paquetes); 1 de celulares y 2 de monitorear la entrada y salida de correo a la empresa.

De lunes a viernes, los dos trabajadores deben presentarse en la oficina a las 8:00 am para iniciar la ruta y a las 5:00 pm para la realización del balance de los paquetes entregados y las devoluciones. Se reciben en promedio de 40 a 70 paquetes al día, pero siempre se deben entregar 50 por políticas de la empresa; dado que haya menos de 50 encomiendas para la zona designada, los empleados completan la cantidad mínima con paquetes de zonas aledañas, si aun así no cumplen con la cantidad, añaden a la entrega cartas; por otro lado, si hay más de 50 paquetes, se entregan la cantidad mencionada y los restantes se acumulan para el siguiente día. Para la distribución, el conductor cuenta con 2 horas para hacer la clasificación (*según la dirección de destino*) y ruteo de estos (*se hace una ruta al día*). Cabe resaltar que, estas tareas se realizan de forma empírica basándose en conocimiento de experiencias previas.

Para completar la entrega de los paquetes la dirección debe existir y en caso de ser una entidad debe coincidir también el nombre de la empresa. Hay ocasiones que impiden la entrega exitosa, por ello se cuenta con la siguiente clasificación para las devoluciones:

- *Cerrado uno (C1)*: Cuando los trabajadores llegan al lugar y se encuentra cerrado (No hay nadie quien pueda recibir el paquete).
- *Cerrado dos (C2)*: Cuando los trabajadores van por segunda vez y se encuentra cerrado de nuevo.
- *Dirección incorrecta (DI)*: Cuando la dirección del paquete no existe.

- *Nombre incorrecto (NI)*: Cuando no está correctamente escrito el nombre de la empresa o persona que va a recibir el paquete.

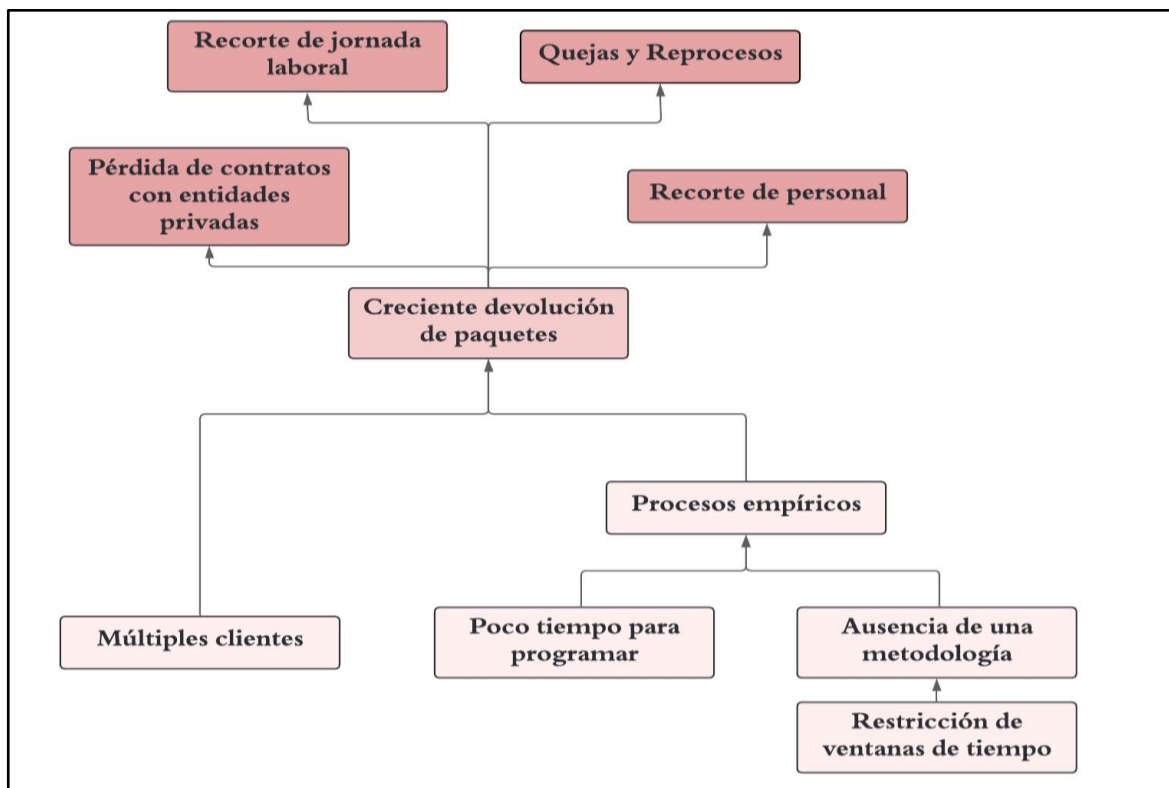
Una vez determinada la devolución definitiva, los paquetes permanecen en la oficina hasta por tres meses, a la espera de ser reclamados por el titular. La causa más común de devolución es C1 (40%), seguida por DI (30%) y NI (30%). Además, el 60% de los casos clasificados como C1 se repiten en una segunda visita (C2). Esta situación revela una problemática asociada a la gestión del tiempo y a la disponibilidad de los clientes en franjas horarias específicas, lo que introduce una nueva dimensión al problema: las restricciones temporales.

Dicho escenario corresponde a una variante del TSP conocida como *Traveling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW), en la cual el agente debe cumplir con ventanas de tiempo predefinidas por cada cliente. El servicio en cada nodo debe iniciar dentro del intervalo establecido, lo que complejiza el diseño de la ruta, ya que la solución debe garantizar no solo el menor costo, sino también el cumplimiento de dichas restricciones (Bretin et al., 2021).

El impacto de esta problemática ha sido significativo para la empresa. Se reporta un promedio de tres quejas semanales, la pérdida de diez contratos con entidades privadas durante el año 2023, y una disminución del 30% en la cantidad de paquetes recibidos. Como consecuencia, se han producido recortes de personal y reducción de la jornada laboral. Anteriormente, se contaba con un repartidor adicional y la operación incluía los sábados; actualmente, se ha suspendido esta jornada y se ha reasignado al trabajador a otra ciudad.

En este contexto, se hace evidente la necesidad de abordar el problema de ruteo con una solución que considere las restricciones temporales. A continuación, se muestra en la Ilustración 1 el árbol de problemas que resume la situación de la empresa de mensajería.

Ilustración 1: Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

Además, estos reprocesos incrementan los costos operativos, ya que los paquetes no entregados deben ser redistribuidos al día siguiente generando acumulación de carga. En este sentido, surge la necesidad de responder a la siguiente pregunta: *¿De qué manera se puede planificar las rutas de entrega considerando las ventanas de tiempo para disminuir las devoluciones de paquetes en la empresa?*

Palabras claves: heurística, TSPTW, ventanas de tiempo, VRP.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Proponer una metodología para la programación de rutas de distribución para una empresa dedicada a la mensajería teniendo en cuenta las ventanas de tiempo.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

3.2.1. Caracterizar los procesos actuales de distribución de paquetes.

3.2.2. Elaborar una metodología detallada y sistemática para la distribución de paquetes que incorpore consideraciones específicas de las ventanas de tiempo de los clientes.

3.2.3. Evaluar la metodología propuesta para la distribución de paquetería verificando mejoras en el proceso.

4. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La logística desempeña un papel crucial en el análisis y la gestión de los sistemas de transporte, distribución y atención al cliente. En un contexto donde la eficiencia operativa se ha vuelto un objetivo estratégico, optimizar estos procesos representa un desafío complejo pero indispensable para cumplir con los plazos establecidos y elevar los niveles de satisfacción del cliente. Esta necesidad se intensifica en empresas que enfrentan dificultades relevantes en la operación de sus cadenas de suministro.

En este escenario, los Problemas de Ruteo de Vehículos (*Vehicle Routing Problems*, VRP) emergen como herramientas fundamentales para la optimización de la distribución de bienes, el transporte de personal y la prestación de servicios mediante flotas vehiculares. Estos problemas abarcan una amplia gama de situaciones logísticas, con un enfoque en la planificación eficiente de rutas que permitan satisfacer la demanda de entrega o servicio con el menor costo posible (H. Zhang et al., 2021).

El primer modelo formal del VRP fue propuesto por Dantzig y Ramser en 1959. En su investigación, utilizaron programación lineal para determinar rutas óptimas en una flota de camiones de reparto de gasolina, con el objetivo de minimizar la distancia recorrida y satisfacer la demanda de manera efectiva (Gers & Viggiano, 2016). A partir de este enfoque inicial, han surgido múltiples variantes que se adaptan a la creciente complejidad de los entornos logísticos actuales.

Una de las variantes más relevantes es el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*, VRPTW), que introduce restricciones temporales específicas para cada punto de entrega. Esta condición añade una capa adicional de dificultad, ya que no solo se busca minimizar distancias o costos, sino también garantizar el cumplimiento estricto de horarios establecidos (Solomon & Derosiers, 1988).

Relacionada con esta variante se encuentra el Problema del Viajante con Ventanas de Tiempo (*Traveling Salesman Problem with Time Windows*, TSPTW), que tiene como objetivo encontrar un recorrido de costo mínimo que inicie y finalice en un depósito determinado, visitando a un conjunto de clientes con tiempos de servicio definidos y ventanas temporales de atención (Da Silva & Urrutia, 2010). Bretin, Desaulniers y Rousseau proponen en su artículo agrupar en clusters el número de puntos de servicios cuya demanda no supere la capacidad establecida por el vehículo para posteriormente diseñar la ruta de acuerdo con el cluster, teniendo en cuenta el turno de trabajo procurando que no sea demasiado larga o corta (Bretin et al., 2021). A su vez, en esa misma línea, una variante del problema del viajante (TSPTW) es el problema del viajante abierto con ventanas de tiempo (*Open Traveling Salesman Problem with Time Windows*, OTSPTW), ampliamente utilizado en el ámbito de la gestión de la distribución en los cuales se deba cumplir ventanas de tiempo predeterminadas. Este modelo es útil para representar diversas situaciones del mundo real. Por ejemplo, cuando una empresa no dispone de una flota de vehículos propia y debe alquilar uno para realizar entregas a sus clientes. En estos casos, el vehículo no regresa al depósito sino a la empresa prestadora del servicio (Brkljač et al., 2013)

Por otro lado, existen problemas logísticos en los que el énfasis se encuentra no en los nodos (clientes), sino en los caminos (aristas) que los conectan. Estos casos son abordados por el Problema de Enrutamiento en Arcos (*Arc Routing Problem*, ARP), el cual resulta más adecuado cuando los clientes están dispuestos de manera secuencial a lo largo de una ruta. En estos escenarios, el servicio de los arcos puede estar influenciado por el sentido de las vías o condiciones del tráfico (Jin et al., 2021).

Dentro de esta categoría, una variante destacada es el Problema del Cartero Chino Dirigido (*Directed Chinese Postman Problem*, DCP), el cual tiene como objetivo encontrar el camino cerrado más corto que recorre cada arista al menos una vez en un grafo dirigido, por tanto. El Problema del Cartero Chino Dirigido tiene varias aplicaciones en el mundo real, particularmente en escenarios que involucran redes dirigidas, como redes de carreteras con

calles de un solo sentido, sistemas de transporte, redes de servicios públicos y planificación logística (Sgarro et al., 2024).

Con base en esta revisión de literatura, el presente trabajo busca analizar y aplicar los diferentes tipos de problemas del ruteo de vehículos a una situación particular. En concreto, se propone la combinación entre el OTSPTW (*Open Traveling Salesman Problem with Times Windows*) y el DCP (Directed Chinese Postman Problem), con el fin de diseñar una solución al problema planteado, integrando elementos de cobertura de caminos y cumplimiento de restricciones temporales.

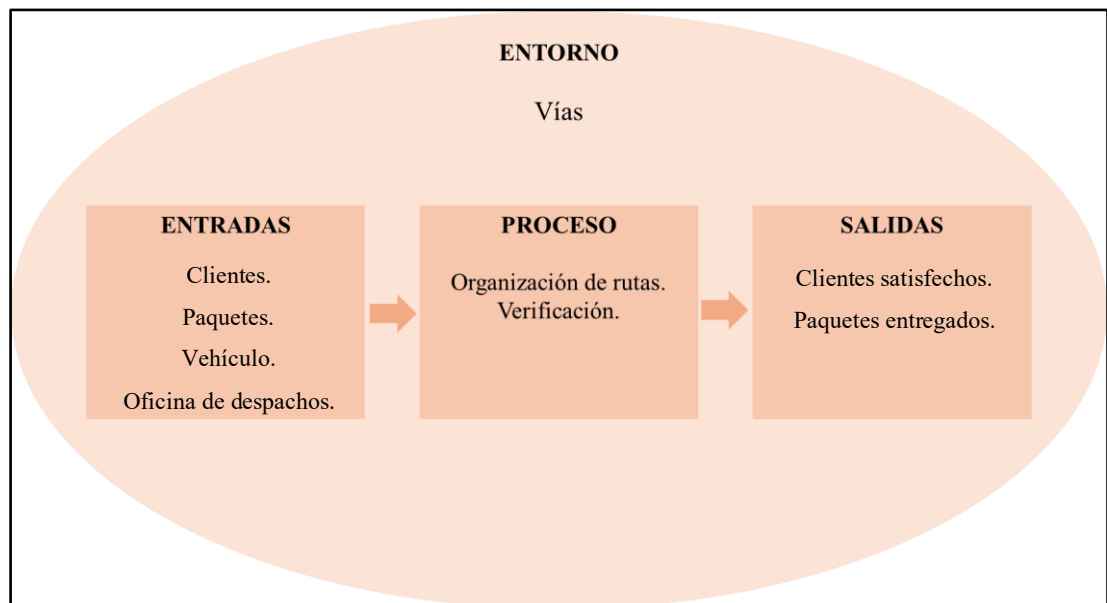
5. DESARROLLO METODOLÓGICO

En esta sección se ha desarrollado una metodología para el ruteo de un vehículo no capacitado, debido que los paquetes son pequeños y no se ven afectados por las dimensiones del vehículo. Esta metodología tiene como propósito principal brindar a la empresa del caso de estudio una herramienta que le permita programar las rutas de entrega de paquetes teniendo las ventanas de tiempo predeterminadas de tal manera que, se minimice las devoluciones en la compañía. A continuación, se presenta el desarrollo de esta metodología.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS ACTUALES DE DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES.

Para llevar a cabo la identificación de los procesos actuales de distribución de paquetes, es fundamental comprender primero todos los elementos que intervienen en el sistema. Esto incluye las entradas, así como los diferentes procesos que se llevan a cabo, y finalmente, sus salidas, como se observa en la *Ilustración 2*.

Ilustración 2: Elementos del sistema



Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Clientes.

Como se expuso en el numeral *PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA*, la empresa de mensajería recibe diariamente entre 40 y 70 paquetes. No obstante, debido a políticas internas, se requiere que cada día se entreguen 50 paquetes. Cuando la cantidad de encomiendas destinadas a la zona programada es inferior a esa cantidad, los empleados completan la carga con paquetes correspondientes a la siguiente zona en la ruta planificada. Si aun así no se alcanza el umbral requerido, se incorporan cartas para cumplir con la cuota diaria.

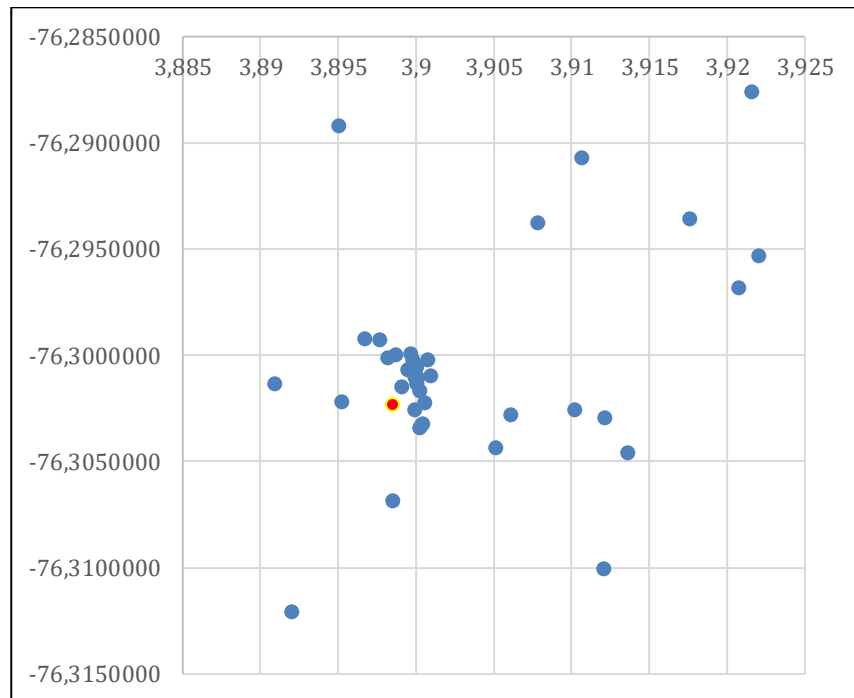
En contraste, si el número de paquetes disponibles supera los 50, solo se entregan esos 50 y el resto se almacena para su distribución en días posteriores. En promedio, el 20% de los paquetes está dirigido a personas naturales, el 50% a entidades privadas las cuales deben ser visitadas día de por medio; y el 30% a entidades públicas las cuales deben ser visitadas todos los días.

Las entidades públicas y privadas se localizan según las coordenadas de latitud y longitud registradas en la *Anexo 1*. Estas organizaciones operan en horario de oficina de 8:00 a. m. a 12:00 p. m. y de 2:00 p. m. a 6:00 p. m. El tiempo estimado para realizar cada entrega es de 5 minutos.

Por su parte, el 20% restante de los envíos corresponde a personas naturales, cuya disponibilidad horaria no puede definirse con precisión. Sin embargo, se asume que pueden ser contactadas en cualquier momento del día.

Finalmente, en la *Ilustración 3* se dispone la distribución geográfica de los clientes en un plano cartesiano. Cada punto azul representa a un destinatario según sus coordenadas, mientras que el punto rojo indica la ubicación del centro de distribución, el cual actúa como nodo de partida y llegada en el diseño de rutas de entrega.

Ilustración 3: Ubicación de los clientes



Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Oficina de despacho.

Actualmente, el punto de distribución (CD) se encuentra ubicado en el centro de la ciudad y opera de lunes a viernes con un horario de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y de 2:00 p.m. a 6:00 p.m. En este centro, dos trabajadores se encargan de diversas tareas, como la inspección y descarga de paquetes, así como el cargue de todas las guías de las encomiendas en el sistema. Estas operaciones aseguran que a las 8:00 a.m., cuando llegan los distribuidores de paquetes, puedan clasificar las encomiendas y planificar sus rutas. En esta oficina trabajan 7 personas que se distribuyen las funciones así: 4 empleados se enfocan en recibir, clasificar (según la zona) y despachar (2 se encargan de las cartas y 2 de los paquetes); 1 de celulares y 2 de monitorear la entrada y salida de correo a la empresa.

5.1.3. Vehículo.

El vehículo utilizado para la distribución de paquetes en la ciudad es un furgón con motor turbodiésel de *3.0 litros* y una velocidad máxima de *120 km/h*. Sin embargo, el conductor mantiene una velocidad promedio de *15 km/h* aproximadamente, debido a los pares, semáforos y tiempo de arranque del vehículo. (*Resolución 1384 de 2010 Ministerio de Transporte, 2010*).

El horario de operación del vehículo comienza a las *8:00 a.m.*, permitiendo al trabajador utilizar el furgón hasta las *5:00 p.m.*, momento en que se realiza el cierre de la jornada. El distribuidor dispone de una hora para almorzar, la cual puede ser tomada en el rango de *12:00 p.m. a 2:00 p.m.*

5.1.4. Vías.

La ciudad cuenta con una estructura vial definida principalmente en la zona central, donde se concentra la mayor parte del tráfico. En esta área, las carreteras están organizadas con una orientación norte-sur y las calles en sentido oriente-occidente, lo cual permite un flujo ordenado y generalmente unidireccional del tránsito. Esta zona, además de ser la más concurrida de la ciudad, presenta un alto flujo de personas y vehículos, así como una alta densidad de clientes a visitar por parte de la empresa. Las calles en esta zona suelen ser estrechas, lo que dificulta el acceso vehicular, especialmente durante las horas pico.

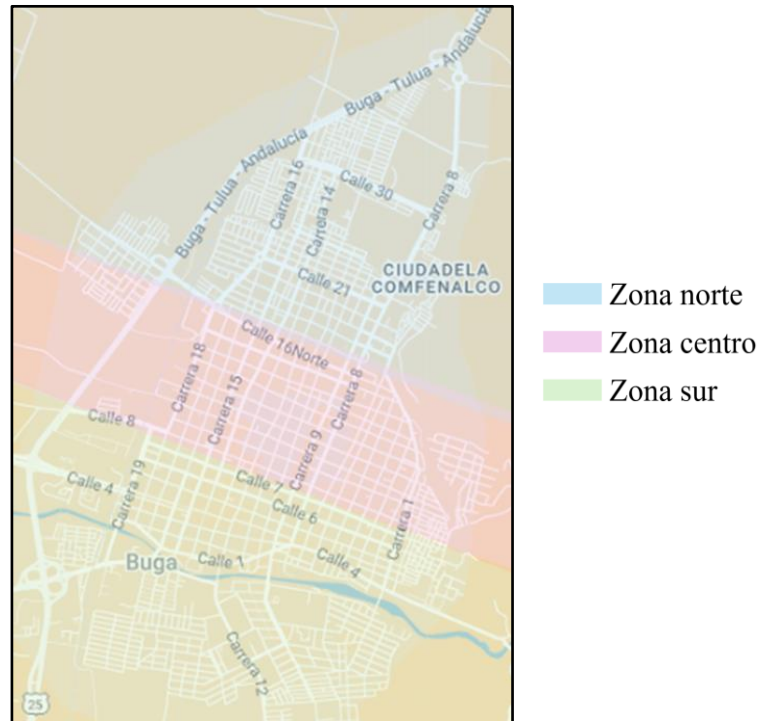
Sin embargo, en el resto de la ciudad las vías no tienen una orientación estrictamente definida debido que son doble vía. Adicionalmente, cada vía cuenta con su nomenclatura y señalización correspondiente, lo que facilita la navegación dentro de la ciudad.

Para facilitar la distribución de paquetes, la empresa divide la ciudad en tres zonas (ver *Ilustración 4*):

- **Zona norte:** comprende el área desde la calle 39 hasta la calle 16.

- **Zona centro:** se extiende desde la calle 15 hasta la calle 7.
- **Zona sur:** cubre el tramo desde la calle 6 hasta los límites de la ciudad.

Ilustración 4: Zonas de distribución



Fuente: elaboración propia.

5.1.5. Proceso de organización de ruta.

El proceso de configuración de la ruta es ejecutado en tres fases: recibir, clasificar y despachar, siendo cuatro los empleados encargados de llevar a cabo esta labor. En la primera fase *Recibir*, los paquetes llegan desde la bodega, donde ya han sido contados y verificados para asegurar que estén correctamente sellados. En la etapa de *Clasificar*, se organiza la carga de acuerdo con las tres zonas establecidas por la empresa: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur. Por último, en la fase de *Despachar*, se cargan los paquetes en el vehículo, teniendo en cuenta la política interna que exige la entrega de 50 paquetes diarios. Posteriormente, los distribuidores trazan la ruta de forma empírica,

ya que actualmente no cuentan con una metodología técnica o herramienta especializada para este proceso.

Durante la ejecución de estas actividades se han identificado algunas dificultades. Por ejemplo, en ocasiones la cantidad de paquetes asignada a una zona no alcanza la cantidad requerida de 50 entregas, cuando esto ocurre, los empleados completan la carga incluyendo paquetes de la siguiente zona programada, lo que genera mezclas entre zonas y dificulta la organización del ruteo. Esta situación ocurre con mayor frecuencia en la zona norte, donde en aproximadamente el 70% de los casos es necesario complementar con paquetes de la zona centro para cumplir con el mínimo estipulado. Esta práctica genera inconsistencias en la clasificación, afectando la planeación y ejecución de las entregas.

5.1.6. Procesos de Verificación.

Al terminar la ruta, las guías se clasifican según las causas de las devoluciones. Cuando un paquete no puede ser entregado porque el destinatario no estaba disponible o no se encontraba, se guarda en el *CD* para realizar la entrega al día siguiente. Si el paquete no se puede entregar nuevamente, se almacena en el centro de distribución durante tres meses, tiempo donde el cliente puede reclamar presentando su cédula original. Pasados los tres meses, el paquete se envía a Bogotá, donde se almacena otros dos meses, y el cliente puede solicitar su devolución mediante una carta formal. En casos de dirección o nombre incorrectos, el paquete se devuelve directamente a Bogotá, donde espera a que el cliente realice una nueva solicitud para ser reenviado.

La empresa también utiliza estrategias adicionales, como llamar al cliente al número de teléfono proporcionado, para notificarle que el paquete se encuentra en el centro de distribución y coordinar su entrega.

5.2. ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DETALLADA Y SISTEMÁTICA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES QUE INCORPORE CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS DE LAS VENTANAS DE TIEMPO DE LOS CLIENTES.

Como se indicó en la sección 5.1.5, el sistema actual de clasificación presenta dificultades operativas que impactan negativamente en la logística de la distribución. En respuesta a esta situación, se propone una reorganización de las zonas de distribución mediante una nueva división operativa de la ciudad en dos áreas, con el objetivo de maximizar el uso de la capacidad vehicular, especialmente considerando que los paquetes entregados son de pequeño tamaño.

Esta propuesta parte del análisis del entorno urbano y del patrón de distribución de los clientes. En particular, se considera que en el centro de la ciudad se concentran las empresas públicas, las cuales deben ser atendidas diariamente. Por tanto, se plantea la siguiente segmentación de zonas:

- **Zona 1:** comprende el centro y el norte de la ciudad, abarcando tanto empresas públicas como privadas.
- **Zona 2:** incluye el centro y el sur de la ciudad, pero en este caso se visitan únicamente las empresas públicas ubicadas en el centro.

La estrategia de solución combina dos variantes del Problema de Ruteo de Vehículos (*Vehicle Routing Problem*, VRP), seleccionados según las características específicas de cada zona.

La primera variante corresponde al Problema del Cartero Chino con arcos dirigidos (*Directed Chinese Postman Problem*, DCPP), aplicado a la zona centro. Esta área presenta una alta densidad de clientes ubicados en calles cercanas entre sí, dentro de una red vial compuesta principalmente por vías de un solo sentido. Esta configuración obliga a recorrer ciertas calles en direcciones específicas, por lo que resulta necesario diseñar un recorrido que cubra todas las calles minimizando la distancia total recorrida.

Este es precisamente el objetivo del DCPD (Sgarro et al., 2024).

La segunda variante se basa en el Problema del Viajero Abierto con Ventanas de Tiempo (*Open Traveling Salesman Problem with Time Windows*, OTSPTW), el cual se aplica a las zonas norte y sur. A diferencia del centro, estas zonas presentan una distribución más dispersa de los clientes, y no es necesario recorrer todas las vías, sino únicamente mejorar el orden de visita a cada cliente una sola vez. En este caso, el trayecto inicia en el último cliente atendido en la zona centro y finaliza en la empresa, que funciona como centro de distribución, por ello el OTSPTW se adapta mejor a esta situación.

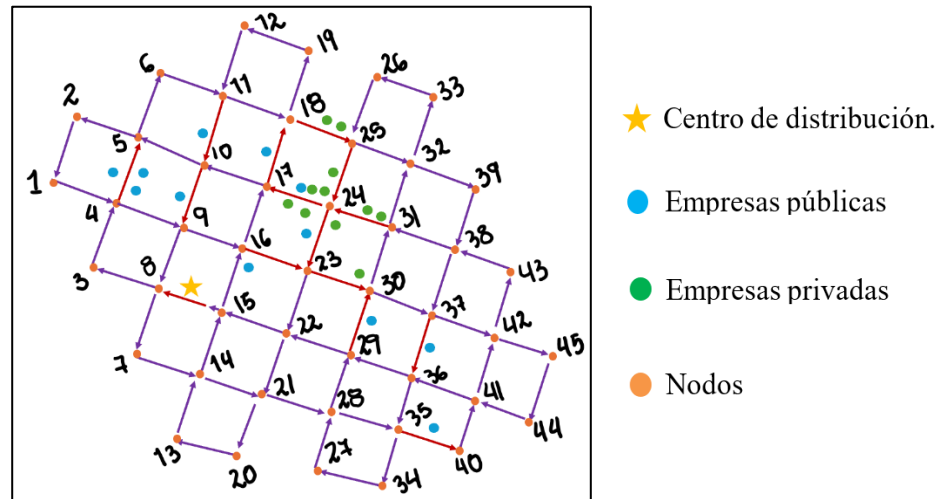
5.2.1. Cartero Chino Recorrido central.

Se aplicó el algoritmo para el Problema del Cartero Chino Dirigido con el propósito de determinar un recorrido que abarque todas las empresas ubicadas en la zona centro de la ciudad y en las proximidades del centro de distribución. Este algoritmo, basado en la teoría de grafos, permite encontrar un camino que recorre cada arista del grafo al menos una vez con el menor costo posible, asegurando así la cobertura completa de las empresas sin trayectos innecesarios. Su procedimiento se desarrolla siguiendo la metodología presentada en Yordá Pérez, 2014.

El procedimiento comienza con la construcción de un grafo dirigido que representa el problema de ruteo en la zona centro. Para ello, se georreferenciaron las ubicaciones de las empresas ubicadas en la zona central (ver *Anexo 2. Clientes zona centro.*, las cuales se encuentran consignadas en el sobre el mapa en la *Ilustración 5*.

La red vial fue modelada mediante aristas, mientras que cada intersección entre vías fue representada como un nodo del grafo. Adicionalmente, se identificaron y codificaron las aristas dirigidas correspondientes a calles y carreras con sentido único de circulación.

Ilustración 5: Grafo zona central



Fuente: elaboración propia

El grafo construido es completamente conexo, ya que es posible alcanzar todos los nodos a través de las aristas. A continuación, se verificó si el grafo es euleriano, lo que implica que todos los nodos deben tener un grado par. Según el *Anexo 3* al revisar los grados de los nodos, se observó que todos cumplen con esta condición. Por lo tanto, no fue necesario realizar ajustes, ya que el grafo es euleriano y puede resolverse directamente para generar la ruta.

Teniendo en cuenta que la distribución de los sectores para la zona 1 y zona 2, se construyeron dos rutas con base al algoritmo del cartero chino dirigido, en donde para la zona 1 se abarca las empresas públicas y privadas del sector del centro y para la zona 2 se abarca solo las empresas públicas. En los dos casos, el recorrido se inició desde la arista 15-8, dónde se encuentra ubicado el centro de distribución, además, se identificaron las aristas obligatorias y no obligatorias (ver *Anexo 4*). En la *Ilustración 6* y *Ilustración 7* se presentan las direcciones de las calles señaladas con flechas, lo que permite visualizar claramente la secuencia de visitas en las rutas obtenidas.

Ilustración 6: Grafo cartero chino zona 1

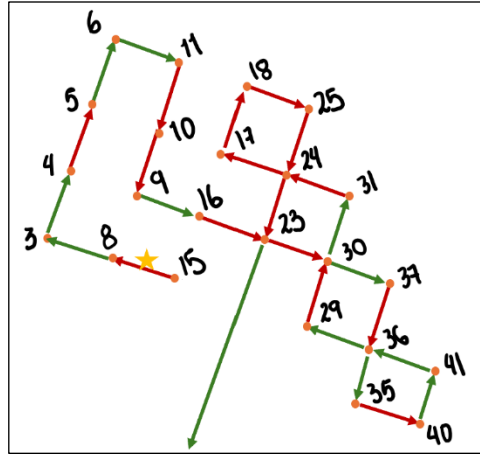
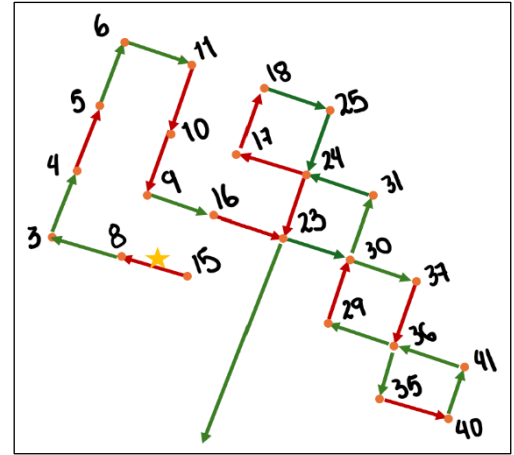


Ilustración 7. Grafo cartero chino zona 2



★ Centro de distribución. ➔ Aristas obligatorias ➔ Aristas no obligatorias ● Nodos

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se definieron las rutas correspondientes a la zona centro, teniendo en cuenta las particularidades de cada una. La ruta establecida para la zona 1 y zona 2 se presenta en el *Anexo 5* y *Anexo 6* respectivamente. Estas rutas permiten cubrir los clientes ubicados en el centro de la ciudad, sirviendo como punto de partida el cliente 21 para continuar con las entregas en las zonas norte y sur según corresponda.

5.2.2. Construcción del Modelo para las Zonas 1 y 2.

5.2.2.1. Matrices de distancias y tiempos para cada zona.

Para la construcción del modelo en Excel, se realizó una matriz de distancia para cada zona utilizando la latitud y longitud (ver *Anexo 15*, *Anexo 17*) de los clientes de los *Anexo 5* y *Anexo 6* respectivamente y haciendo uso de la fórmula de Haversine (ver *Ecuación 1*) utilizada en geografía y logística para calcular la distancia entre la superficie de una esfera, considerando su latitud y longitud. Tiene en cuenta la curvatura de la tierra lo que hace más preciso el cálculo de distancia euclidiana en coordenadas cartesianas (Sajithabegam & Menakadevi, 2024).

$$d = 2 * r * \arccos \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) * \cos(\phi_2) * \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde r es el radio de la tierra (6371 km), d es la distancia entre los dos puntos ϕ_1, ϕ_2 es la latitud de los dos puntos y λ_1, λ_2 son la longitud de los puntos respectivamente.

Las distancias calculadas mediante la fórmula de Haversine (ver *Ecuación 1*) tienden a subestimar las distancias reales, ya que los vehículos no se desplazan en línea recta. Para corregir esta diferencia, se utiliza un factor de circuito o multiplicador, el cual permite ajustar las distancias calculadas para que se aproximen más a la realidad (Ballou, 2004). En el caso de la ciudad de Buga, no se cuenta con un valor previamente establecido, por lo que se tomaron 20 distancias reales (medidas con Google Maps) y se hizo la relación con las obtenidas mediante la fórmula de Haversine (ver *Ecuación 2*). A partir de estos datos, se aplicó la fórmula del factor de ajuste y se obtuvo el valor que multiplica las distancias calculadas para su corrección (ver *Ecuación 3*).

$$f_i = \frac{D_{real}}{D_{Haversine}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$f_{ciudad} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \quad \text{Ecuación 3}$$

En el *Anexo 5* se presenta el cálculo realizado a partir de 20 distancias entre clientes en la ciudad, en donde se compararon las distancias reales, con las distancias calculadas a través de la fórmula de Haversine. Para cada par de puntos se calculó el factor individual, el cual corresponde al cociente entre la distancia real y la distancia Haversine. A partir del promedio de estos valores, se obtuvo un factor de circuito de **1.6** para la ciudad de Buga, el cual se utilizó para ajustar todas las distancias estimadas con la fórmula de Haversine, logrando así una mejor aproximación a las distancias reales.

Posteriormente, se construyó una matriz tiempos para cada zona (ver

Anexo 17,

Anexo 18), en donde se calculó el tiempo que tarda el mensajero en trasladarse entre los puntos dividiendo la distancia hallada y ajustada sobre la velocidad promedio de *15 km/h* y sumando el tiempo de servicio de *5 minutos* en promedio.

Se excluyeron aquellos clientes que ya fueron visitados en la ruta generada mediante el algoritmo del problema del cartero chino dirigido expresado en el apartado *Cartero Chino Recorrido central*. del presente documento.

5.2.2.2. Modelo en Solver de Excel.

Teniendo en cuenta que la empresa de estudio no cuenta con licencias de software para la resolución de problemas y a su vez, las personas no cuentan con la capacitación necesaria para la utilización de estos, se optó por la utilización de la función de Solver en Excel para mayor facilidad en la organización de la ruta.

- Notación
 - Parámetros:
 - n = Número de clientes.
 - Q = Capacidad de paquetes por ruta (50 paquetes).
 - H_{max} = Tiempo máximo de trabajo (8 horas).
 - Variables:
 - x_{ij} = Variable binaria.
 - d_{ij} = Distancia entre dos nodos.
 - t_{ij} = Tiempo de viaje desde i hasta j .
 - q_i = Paquetes para el cliente i .
 - o_i = Tiempo de servicio de entrega en el cliente i .
 - a_i, b_i = Inicio y fin de la ventana de tiempo del cliente i .
 - T_i = Hora de llegada al cliente i .

- L = Hora de inicio de almuerzo, debe estar entre las 12:00 m y las 2:00 p.m. con una duración de 1 hora.

- Función objetivo: Minimizar la distancia recorrida.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$$

- Restricciones del Modelo

- Tiempo máximo de trabajo

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (t_{ij} + o_j) x_{ij} \leq H_{max}$$

- Cantidad máxima de paquetes entregados

$$\sum_{i=1}^n q_i \leq Q$$

- Atención a ventanas de tiempo

$$a_i \leq T_i \leq b_i, \quad \forall i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

- Si i es empresa $a_i = 8:00$ a.m., $b_i = 12:00$ p.m. o $a_i = 2:00$ p.m., $b_i = 5:00$ p.m.

- Si i es persona natural $a_i = 8:00$ a.m., $b_i = 5:00$ p.m.

- Pausa de almuerzo

$$12:00 \text{ m} \leq L \leq 2:00 \text{ p.m.}$$

- La duración del almuerzo es de 1 hora o 60 minutos.

- Puntos de inicio y finalización

$$\sum_{j=1}^n X_{inicio,j} = 1$$

- Inicio: Nodo correspondiente al último cliente del recorrido del Cartero Chino.

$$\sum_{i=1}^n X_{i,0} = 1$$

- Final: Nodo 0, es el Centro de distribución.

Dado que la empresa no cuenta con un software especializado de optimización ni cuenta con los recursos para adquirirlo, por ello, el problema anterior se resolvió utilizando la herramienta Solver de Excel. Esta herramienta ofrece tres tipos de solucionadores: GRG no lineal, Simplex PL y Evolutivo, cada uno diseñado para distintos tipos de problemas de optimización.

Para este caso específico se empleó el solucionador Evolutivo, ya que resulta especialmente útil cuando se trabaja con un gran número de variables y los métodos tradicionales, como GRG o Simplex, pueden tardar demasiado o no lograr encontrar una solución global. Este solucionador funciona generando una población inicial de posibles soluciones. Posteriormente, evalúa su calidad y, mediante operadores genéticos como: la selección, el cruce y la mutación produciendo nuevas generaciones de soluciones. Este proceso se repite iterativamente con el objetivo de encontrar la mejor solución posible dentro de las restricciones establecidas. (Y. Zhang, 2025)

Para la utilización de este solucionador se construyen los anexos *Anexo 9* y *Anexo 10* para cada una de las zonas, en los cuales se establecen las celdas cambiantes de acuerdo con la función objetivo y restricciones dispuestas. La columna “Solución” indica el orden en el cual se organizan los clientes para genera la ruta, la columna

“Distancia” equivale a la distancia recorrida entre el cliente anterior y el siguiente, y la columna de “Tiempo” el cual equivale al tiempo que tarda el mensajero trasladarse del cliente anterior al siguiente teniendo en cuenta el tiempo de servicio. Cabe resaltar que, para los valores de distancia y tiempo para el primer cliente atendido en el OTSPTW es la distancia total recorrida y tiempo total tomado para el recorrido del DCPD para cada una de las zonas.

En los anexos *Anexo 11* y *Anexo 12* se presenta la asignación de las ventanas de tiempo para cada una de las zonas. La columna “V.T Abre” indica el momento en la que abre la ventana de tiempo, “V.T Cierra” indica el momento en la que la ventana de tiempo cierra; en los casos de las empresas presenta dos ventanas debido al horario de oficina estipulado anteriormente. La columna “Tiempo” indica que tarda el mensajero en recorrer la distancia entre el nodo *i* al nodo *j*, la columna “Condicional” verifica que se cumpla una de las dos ventanas de tiempo estipuladas de tal manera que al menos una debe tener el valor de uno; y la columna “Acumulado” es la suma entre las dos casillas anteriores para verificar que la suma sea igual a uno, lo que indica que se le está dando cumplimiento al requisito.

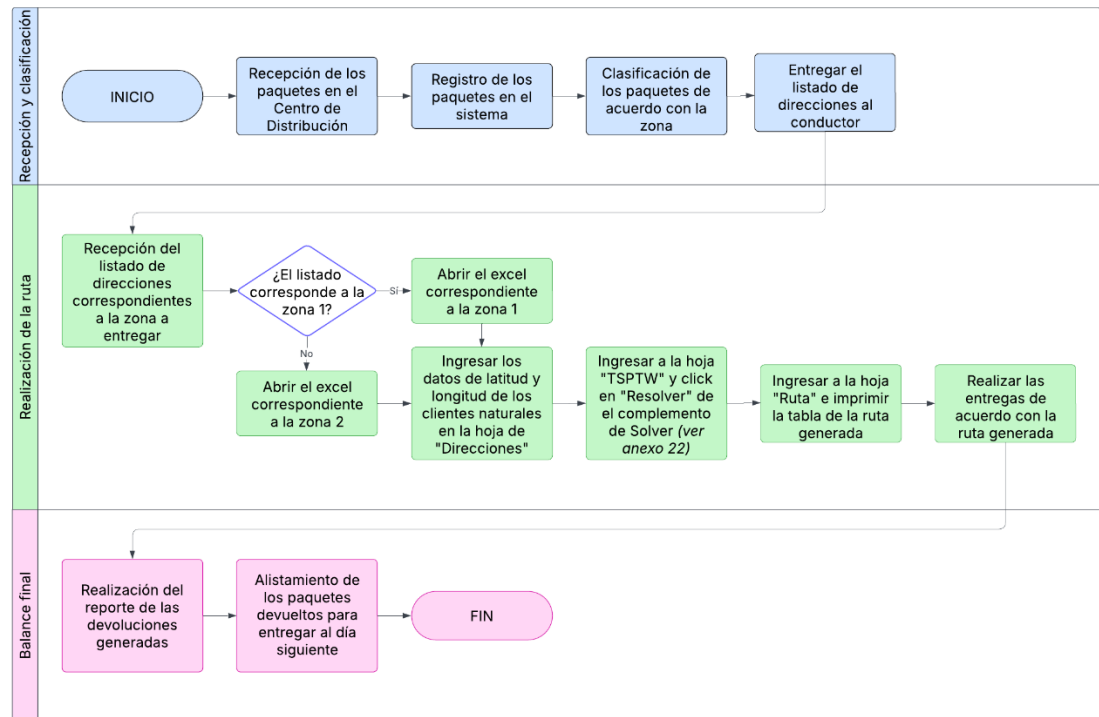
Cabe resaltar que el modelo tarda entre un minuto y medio y dos minutos en encontrar la mejor solución, lo que representa una mejora significativa si se considera que, de forma empírica, el trabajador emplea alrededor de 20 minutos para realizar el ruteo.

5.2.3. Propuesta metodológica.

Teniendo el algoritmo del Cartero Chino y el modelo para las zonas 1 y 2 desarrollados en los apartados 5.2.1 y 5.2.2. respectivamente. En la

Ilustración 8 se consolida una metodología detallada y sistemática diseñada para la creación de las rutas de distribución de paquetes.

Ilustración 8. Metodología para el ruteo



Fuente: elaboración propia

5.3. EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PAQUETERÍA VERIFICANDO MEJORAS EN EL PROCESO.

Para evaluar la metodología propuesta en comparación con el proceso actual de distribución, se realizaron simulaciones de rutas bajo ambos enfoques. La comparación se llevó a cabo teniendo en cuenta el número de devoluciones, el cumplimiento de las ventanas de tiempo y el uso de paquetes de zonas distintas para completar la carga diaria. Esta comparación se realizó durante los 3 días siguientes a la obtención a la propuesta actual.

5.3.1. Método actual de distribución.

Durante los tres días de prueba se observaron las siguientes condiciones:

- **Zona norte:** se recibieron únicamente 37 paquetes. Para cumplir con la cuota de 50, se añadieron 13 paquetes provenientes de la Zona Centro.
- **Zona centro:** se entregaron 50 paquetes, incluidos 9 paquetes del día anterior debido a las devoluciones por cerrado 1 presentadas.
- **Zona sur:** se entregaron 50 paquetes, incluidos los 8 pendientes del día anterior debido a las devoluciones por cerrado 1 presentadas.

Con base en lo anterior, el personal encargado de la empresa realizó la ruta de manera empírica (ver *Anexo 19, Anexo 20,*

Anexo 21), de lo cual se obtienen los siguientes datos de devoluciones, distancias recorridas y tiempo:

Tabla 1: Datos obtenidos de la empresa

Zona Visitada	Paquetes propios	Paquetes de otras Zonas	Total entregas	Devolución C1	Devolución C2	Total devoluciones	Distancia recorrida (Km)	Tiempo (H)
Norte	37	13	50	9	0	9	54,887	7,898
Centro	41	9	50	8	3	11	38,145	7,628
Sur	42	8	50	6	0	6	58,888	8,926
Total				23	3	26	151,920	24,452

Fuente: elaboración propia

La simulación se realizó de la manera expuesta en el numeral *Modelo* en Solver de Excel., en el *Anexo 13*, en las columnas nombradas como “Acumulado” se presentan los datos de devoluciones para cada una de las rutas, en donde se realizó la verificación del cumplimiento de la ventana de tiempo, si esta es incumplida, el valor que toma la celda es cero, por ende, se genera una devolución.

5.3.2. Metodología propuesta.

Como se expuso en el numeral *Modelo* en Solver de Excel., se realizó la simulación teniendo en cuenta la función objetivo y restricciones mencionadas anteriormente. Con base a ello se obtuvieron los siguientes datos de devoluciones, distancias recorridas y tiempo (ver *Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12*)

Tabla 2: Datos obtenidos de la simulación

Zona Visitada	Paquetes propios	Paquetes de otras Zonas	Total entregas	Devolución C1	Devolución C2	Total devoluciones	Distancia recorrida (Km)	Tiempo (H)
Zona 1	50	0	50	0	0	0	35,248	7,496
Zona 2	50	0	50	0	0	0	38,546	7,541
Total				0	0	0	73,794	15,037

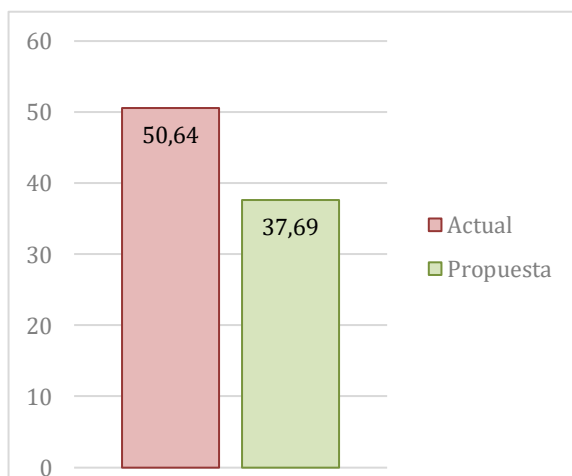
Fuente: elaboración propia

6. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de la propuesta metodológica, diseñada con el objetivo de contribuir a la solución del problema expuesto en el apartado *PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA* de este documento. Para ello, se integraron dos algoritmos de resolución correspondientes a los problemas del Cartero Chino Dirigido (*Directed Chinese Postman Problem*, DCP) y del Viajante Abierto con Ventanas de Tiempo (*Open Traveling Salesman Problem with Time Windows*, OTSPTW).

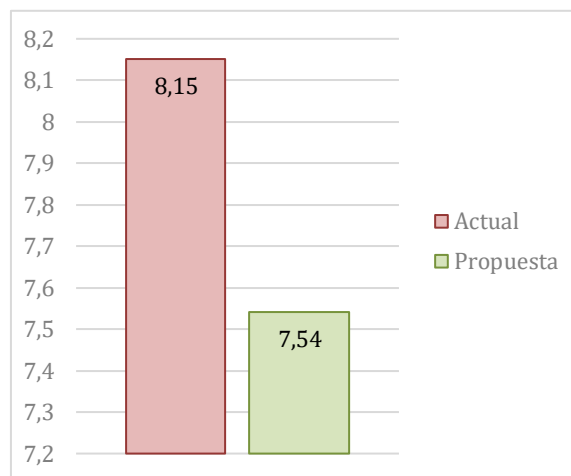
Con base en lo anterior, se diseñó una metodología en la cual se detalla los pasos a seguir para la programación de las rutas de entrega, esta se encuentra especificada en el apartado 5.3.2. La metodología fue comparada con la forma empírica en la que los trabajadores actualmente realizan el ruteo. Los resultados de dicha comparación muestran que la distancia recorrida en la ruta ejecutada por los trabajadores es un 25,6% mayor que la distancia recorrida utilizando la metodología propuesta, según los resultados obtenidos mediante simulación (*ver Ilustración 9*. Distancia recorrida (km)). Asimismo, se calculó el tiempo total empleado para completar cada ruta, considerando el tiempo promedio de servicio en cada uno de los clientes. Se encontró que el tiempo promedio requerido para ejecutar la ruta actual es un 7% superior al estimado con la metodología propuesta (*ver Ilustración 10*).

Ilustración 9. Distancia recorrida (km)



Fuente: elaboración propia

Ilustración 10. Tiempo de recorrido de la ruta (h)



Fuente: elaboración propia

Esta reducción tanto en distancia como en tiempo representa una mejora en eficiencia operativa, facilitando el cumplimiento de las entregas dentro de las ventanas de tiempo establecidas por los clientes.

Por otra parte, en la *Tabla 1* y la *Tabla 2* se presentan los datos correspondientes al cumplimiento de dichas ventanas horarias. Se destaca que, bajo el esquema empírico utilizado por la empresa, se presentaron 26 devoluciones, lo cual representa un indicador negativo, ya que incrementa el riesgo de perder contratos con las entidades. En contraste, la metodología propuesta no presenta devoluciones, dado que este tipo de restricciones fue considerado en la simulación desde su diseño.

Cabe señalar que todos estos resultados se obtuvieron mediante cálculos realizados en Excel, utilizando la herramienta Solver, dado que la empresa no cuenta con un software especializado en optimización ni con los recursos para adquirirlo. No obstante, es importante destacar que, a pesar de esta limitación, la herramienta empleada permitió obtener resultados satisfactorios sin generar gastos adicionales en la compra de un software más avanzado para la resolución del problema.

7. CONCLUSIONES

La propuesta de una metodología para la programación de rutas de distribución, incorporando las ventanas de tiempo como restricción clave, constituye un avance fundamental para optimizar la eficiencia operativa de la empresa y reducir la pérdida de contratos derivada del incumplimiento en las entregas. Esta metodología se apoya en la integración de dos modelos matemáticos complementarios: el Problema del Cartero Chino Dirigido (DCPP) y el Problema del Viajante Abierto con Ventanas de Tiempo (OTSPTW), cuya selección responde a la necesidad de atender las particularidades logísticas de las distintas zonas de cobertura.

A través del diagnóstico del proceso actual, se identificó que la empresa opera bajo un esquema empírico, sin una planificación estructurada de rutas, lo que genera múltiples ineficiencias, como la falta de priorización geográfica, la acumulación de paquetes no entregados y una elevada tasa de devoluciones, que alcanza el 40 % principalmente por incumplimiento de los horarios establecidos por los clientes. En este contexto, el modelo DCPP resulta adecuado para la zona central de la ciudad, caracterizada por su alta densidad de clientes y restricciones viales, mientras que el modelo OTSPTW se adapta a las zonas norte y sur, donde la menor densidad de entregas y mayor dispersión geográfica requieren rutas más flexibles.

La metodología fue desarrollada empleando herramientas accesibles como Microsoft Excel y su complemento Solver, lo que facilitó su implementación sin requerir software especializado. En su construcción, se utilizaron matrices de distancia ajustadas mediante el factor de circuito, así como estimaciones realistas de velocidad promedio y tiempos de servicio por cliente, con el fin de representar fielmente las condiciones operativas de la empresa. Asimismo, se incorporaron las restricciones asociadas a las ventanas de tiempo exigidas por los clientes, lo que permitió alinear la planificación con una de las principales necesidades identificadas. Como resultado, las simulaciones generadas a partir de esta metodología evidenciaron un desempeño favorable, mostrando mejoras en el cumplimiento de los compromisos de entrega.

La validación de la metodología se llevó a cabo mediante simulaciones con datos obtenidos a partir de las matrices de distancia y tiempo. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en el desempeño logístico, entre los cuales se destacan la notable reducción del número de devoluciones, al asegurar las entregas dentro de las ventanas horarias comprometidas con los clientes; la reducción de los tiempos de recorrido, permitiendo cumplir la jornada laboral de ocho horas, incluyendo pausas y traslados; y el cumplimiento de la meta diaria de entregas sin generar acumulación de paquetes para el día siguiente.

En síntesis, la metodología propuesta constituye una solución práctica y replicable a los desafíos de distribución que enfrenta la empresa. Su implementación no solo facilita la transición desde un sistema empírico hacia un esquema sistemático, sino que también contribuye a la sostenibilidad operativa en el mediano y largo plazo. Este enfoque reduce la pérdida de contratos por incumplimientos previos y promueve una gestión logística orientada a la mejora continua, en la que la formación del personal en el uso de herramientas digitales resulta clave para consolidar los avances alcanzados.

Como recomendación para investigaciones futuras, se sugiere la incorporación de un tiempo de servicio estocástico en el modelo de programación de rutas. Esta consideración permitiría reflejar con mayor realismo las condiciones operativas, ya que el tiempo de atención en cada cliente está sujeto a la variabilidad inherente a la acción humana y a factores externos imprevistos. Al modelar esta incertidumbre, sería posible analizar con mayor precisión el impacto de dichas variaciones en los tiempos de entrega y en la eficiencia general del sistema logístico, lo cual aportaría un valor significativo al desarrollo de soluciones más robustas y adaptables a escenarios reales.

8. ANEXOS

Anexo 1. Lista de clientes fijos.

Puntos	Latitud	Longitud	Puntos	Latitud	Longitud
CD	3,8985689	-76,3023783	Privada	3,8709728	-76,2970676
Pública	3,9207344	-76,2968412	Privada	3,8614308	-76,2960132
Pública	3,9220669	-76,2953109	Privada	3,8797653	-76,2985381
Pública	3,917588	-76,2935816	Privada	3,8722524	-76,2968428
Pública	3,9078413	-76,2937718	Privada	3,8828801	-76,2985446
Pública	3,8950501	-76,2892211	Privada	3,8867127	-76,2991214
Pública	3,9005962	-76,3022645	Privada	3,8887106	-76,2997755
Pública	3,8967102	-76,2992338	Privada	3,8990993	-76,3071854
Pública	3,9002767	-76,3033978	Privada	3,8895551	-76,3119085
Pública	3,8999485	-76,3025701	Privada	3,8801345	-76,3135122
Pública	3,900412	-76,3032642	Privada	3,886824	-76,3121829
Pública	3,8991179	-76,3015111	Privada	3,9121587	-76,3029649
Pública	3,9000923	-76,3010838	Privada	3,9136462	-76,3046072
Pública	3,9002265	-76,3016779	Privada	3,9120717	-76,3100394
Pública	3,8984971	-76,3068771	Privada	3,9106705	-76,2907328
Pública	3,8982261	-76,3001415	Privada	3,9216192	-76,2875995
Pública	3,8994493	-76,3006941	Privada	3,9102137	-76,3025889
Pública	3,8909109	-76,3013594	Privada	3,905167	-76,3043732
Pública	3,9004596	-76,3032448	Privada	3,9061155	-76,3028317
Pública	3,8920275	-76,3120832	Privada	3,9009577	-76,3009893
Pública	3,897691	-76,2993012	Privada	3,9007463	-76,3002168
Pública	3,8952423	-76,3021976	Privada	3,9000485	-76,3013641
Privada	3,8928674	-76,3085085	Privada	3,9000448	-76,3013232
Privada	3,8945883	-76,3085295	Privada	3,8999498	-76,3010096
Privada	3,8915744	-76,3115777	Privada	3,8999462	-76,3007779
Privada	3,8899466	-76,3005715	Privada	3,9000763	-76,300554
Privada	3,8880178	-76,3121244	Privada	3,8997759	-76,3001989
Privada	3,8916828	-76,3170118	Privada	3,8996735	-76,2999281
Privada	3,8764437	-76,2975158	Privada	3,8996899	-76,3006185
Privada	3,873922	-76,2972741	Privada	3,8987369	-76,2999915

Anexo 2. Clientes zona centro.

Cliente	Latitud	Longitud	Cliente	Latitud	Longitud
CD	3.8985689	-76.3023783	Cliente 20	3.897691	-76.2993012
Cliente 6	3.9005962	-76.3022645	Cliente 30	3.9009577	-76.3009893
Cliente 7	3.8967102	-76.2992338	Cliente 31	3.9007463	-76.3002168
Cliente 8	3.9002767	-76.3033978	Cliente 32	3.9000485	-76.3013641
Cliente 9	3.8999485	-76.3025701	Cliente 33	3.9000448	-76.3013232
Cliente 10	3.900412	-76.3032642	Cliente 34	3.8999498	-76.3010096
Cliente 11	3.8991179	-76.3015111	Cliente 35	3.8999462	-76.3007779
Cliente 12	3.9000923	-76.3010838	Cliente 36	3.9000763	-76.300554
Cliente 13	3.9002265	-76.3016779	Cliente 37	3.8997759	-76.3001989
Cliente 15	3.8982261	-76.3001415	Cliente 38	3.8996735	-76.2999281
Cliente 16	3.8994493	-76.3006941	Cliente 39	3.8996899	-76.3006185
Cliente 18	3.9004596	-76.3032448	Cliente 40	3.8987369	-76.2999915

Anexo 3. Grados de los nodos.

Nodos	Nº Aristas	Nodos	Nº Aristas	Nodos	Nº Aristas	Nodos	Nº Aristas	Nodos	Nº Aristas	Nodos	Nº Aristas
1	2	8	4	15	4	22	4	29	4	36	4
2	2	9	4	16	4	23	4	30	4	37	4
3	2	10	4	17	4	24	4	31	4	38	2
4	4	11	4	18	4	25	4	32	2	39	2
5	4	12	2	19	2	26	2	33	4	40	4
6	2	13	2	20	2	27	2	34	4	41	4
7	2	14	4	21	4	28	4	35	4	42	2

Anexo 4. Aristas por nodo grafo central.

Inicio	Fin	Obligatorio	Distancia (m)	Inicio	Fin	Obligatorio	Distancia (m)
Nodo 2	Nodo 1	No	98	Nodo 33	Nodo 26	No	105
Nodo 1	Nodo 4	No	92	Nodo 25	Nodo 32	No	100
Nodo 5	Nodo 2	No	105	Nodo 31	Nodo 24	No	108
Nodo 3	Nodo 4	No	104	Nodo 23	Nodo 30	No	104
Nodo 4	Nodo 5	Si	108	Nodo 29	Nodo 22	No	105
Nodo 5	Nodo 6	No	102	Nodo 21	Nodo 28	No	107
Nodo 8	Nodo 3	No	105	Nodo 27	Nodo 28	No	105

Inicio	Fin	Obligatorio	Distancia (m)	Inicio	Fin	Obligatorio	Distancia (m)
Nodo 4	Nodo 9	No	108	Nodo 28	Nodo 29	No	98
Nodo 10	Nodo 5	No	108	Nodo 29	Nodo 30	Si	102
Nodo 6	Nodo 11	No	104	Nodo 30	Nodo 31	No	105
Nodo 12	Nodo 11	No	100	Nodo 32	Nodo 33	No	99
Nodo 11	Nodo 10	Si	103	Nodo 32	Nodo 39	No	109
Nodo 10	Nodo 9	Si	104	Nodo 38	Nodo 31	No	103
Nodo 9	Nodo 8	No	110	Nodo 30	Nodo 37	No	110
Nodo 8	Nodo 7	No	106	Nodo 36	Nodo 29	No	106
Nodo 7	Nodo 14	No	98	Nodo 28	Nodo 35	No	105
Nodo 15	Nodo 8	Si	98	Nodo 34	Nodo 27	No	106
Nodo 9	Nodo 16	No	98	Nodo 39	Nodo 38	No	108
Nodo 17	Nodo 10	No	103	Nodo 38	Nodo 37	No	106
Nodo 11	Nodo 18	No	100	Nodo 37	Nodo 36	Si	99
Nodo 19	Nodo 12	No	100	Nodo 36	Nodo 35	No	103
Nodo 13	Nodo 14	No	103	Nodo 35	Nodo 34	No	108
Nodo 14	Nodo 15	No	103	Nodo 35	Nodo 40	Si	99
Nodo 15	Nodo 16	No	107	Nodo 41	Nodo 36	No	109
Nodo 16	Nodo 17	No	101	Nodo 37	Nodo 42	No	100
Nodo 17	Nodo 18	Si	100	Nodo 43	Nodo 38	No	100
Nodo 18	Nodo 19	No	103	Nodo 40	Nodo 41	No	105
Nodo 20	Nodo 13	No	109	Nodo 41	Nodo 42	No	103
Nodo 14	Nodo 21	No	99	Nodo 42	Nodo 43	No	100
Nodo 22	Nodo 15	No	102	Nodo 42	Nodo 45	No	98
Nodo 16	Nodo 23	Si	108	Nodo 44	Nodo 41	No	110
Nodo 24	Nodo 17	Si	107	Nodo 45	Nodo 44	No	100
Nodo 18	Nodo 25	No	102	Nodo 24	Nodo 23	Si	107
Nodo 26	Nodo 25	No	108	Nodo 22	Nodo 21	No	99
Nodo 25	Nodo 24	No	107	Nodo 21	Nodo 20	No	104
Nodo 23	Nodo 22	No	107	-	-	-	

Anexo 5. Secuencia cartero chino zona 1

Secuencia	Distancia (km)	Tiempo (km)
CD		
Cliente 8	0,353645	0,101016
Cliente 10	0,03379	0,085023
Cliente 18	0,009142	0,08379
Cliente 6	0,175692	0,092118

Secuencia	Distancia (km)	Tiempo (km)
Cliente 9	0,127362	0,089701
Cliente 11	0,239104	0,095288
Cliente 40	0,278116	0,097239
Cliente 20	0,222796	0,094473
Cliente 7	0,174906	0,092079
Cliente 15	0,314158	0,099041
Cliente 38	0,260281	0,096347
Cliente 37	0,051404	0,085903
Cliente 35	0,107146	0,088691
Cliente 34	0,041132	0,08539
Cliente 12	0,028569	0,084762
Cliente 33	0,043326	0,0855
Cliente 32	0,00729	0,083698
Cliente 13	0,064073	0,086537
Cliente 30	0,178501	0,092258
Cliente 31	0,142183	0,090442
Cliente 36	0,133384	0,090002
Cliente 39	0,043557	0,085511
Cliente 16	0,04486	0,085576
Cliente 21	0,794629	0,123065
Total	3,869044	2,193451

Anexo 6. Secuencia cartero chino zona 2.

Secuencia	Distancia (km)	Tiempo (km)
CD		
Cliente 8	0,35364453	0,101016
Cliente 10	0,03379036	0,085023
Cliente 18	0,00914193	0,08379
Cliente 6	0,175692	0,092118
Cliente 9	0,12736236	0,089701
Cliente 11	0,23910394	0,095288
Cliente 20	0,46723901	0,106695
Cliente 7	0,17490561	0,092079
Cliente 15	0,3141576	0,099041
Cliente 12	0,37176883	0,101922
Cliente 13	0,10812177	0,088739

Secuencia	Distancia (km)	Tiempo (km)
Cliente 16	0,22274008	0,09447
Cliente 21	0,7946294	0,123065
Total	3,39229743	1,252948

Anexo 7. Clientes Zona 1

	Cliente	Latitud	Longitud
Públicas	Cliente 1	3.9207344	-76.2968412
	Cliente 2	3.9220669	-76.2953109
	Cliente 3	3.917588	-76.2935816
	Cliente 4	3.9078413	-76.2937718
	Cliente 5	3.8950501	-76.2892211
	Cliente 14	3.8984971	-76.3068771
	Cliente 17	3.8909109	-76.3013594
	Cliente 19	3.8920275	-76.3120832
	Cliente 21	3.8952423	-76.3021976
Privadas	Cliente 22	3.9121587	-76.3029649
	Cliente 23	3.9136462	-76.3046072
	Cliente 24	3.9120717	-76.3100394
	Cliente 25	3.9106705	-76.2907328
	Cliente 26	3.9216192	-76.2875995
	Cliente 27	3.9102137	-76.3025889
	Cliente 28	3.905167	-76.3043732
	Cliente 29	3.9061155	-76.3028317
Naturales	Cliente 41	3.9066651	-76.2989638
	Cliente 42	3.9062574	-76.2964624
	Cliente 43	3.9100692	-76.2970255
	Cliente 44	3.9129547	-76.2929086
	Cliente 45	3.9145593	-76.2961309
	Cliente 46	3.9108598	-76.3075120
	Cliente 47	3.911529	-76.3085045
	Cliente 48	3.9138546	-76.2995100
	Cliente 49	3.9082066	-76.2916253
	Cliente 50	3.9075773	-76.3017788

Anexo 8. Clientes zona 2

	Cliente	Latitud	Longitud
Públicas	Cliente 1	3,9207344	-76,2968412
	Cliente 2	3,9220669	-76,2953109
	Cliente 3	3,917588	-76,2935816
	Cliente 4	3,9078413	-76,2937718
	Cliente 5	3,8950501	-76,2892211
	Cliente 14	3,8984971	-76,3068771
	Cliente 17	3,8909109	-76,3013594
	Cliente 19	3,8920275	-76,3120832
	Cliente 21	3,8952423	-76,3021976
Privadas	Cliente 22	3,8928674	-76,3085085
	Cliente 23	3,8945883	-76,3085295
	Cliente 24	3,8915744	-76,3115777
	Cliente 25	3,8899466	-76,3005715
	Cliente 26	3,8880178	-76,3121244
	Cliente 27	3,8916828	-76,3170118
	Cliente 28	3,8764437	-76,2975158
	Cliente 29	3,873922	-76,2972741
Naturales	Cliente 30	3,8709728	-76,2970676
	Cliente 41	3,8911994	-76,2926149
	Cliente 42	3,8902927	-76,2931735
	Cliente 43	3,8891149	-76,2946323
	Cliente 44	3,8886871	-76,2945252
	Cliente 45	3,8886876	-76,3069534
	Cliente 46	3,8890311	-76,3027230
	Cliente 47	3,8884567	-76,3034115
	Cliente 48	3,8905664	-76,2938348
	Cliente 49	3,8944267	-76,2988600

Anexo 9. Ruta zona 1.

Solución	Distancia (km)	Tiempo (h)
Cliente 21	3,0745208	2,121633951
Cliente 42	2,20834965	0,23055661
Cliente 41	0,44988072	0,113325348

Solución	Distancia (km)	Tiempo (h)
Cliente 22	1,20815173	0,163876749
Cliente 24	1,25580022	0,167053315
Cliente 23	1,0040669	0,150271093
Cliente 2	2,22870356	0,231913537
Cliente 1	0,36052612	0,107368375
Cliente 3	0,80504271	0,137002814
Cliente 26	1,28132233	0,168754789
Cliente 44	1,80673483	0,203782289
Cliente 25	0,56062409	0,120708239
Cliente 45	1,18183015	0,162121977
Cliente 48	0,6127434	0,12418286
Almuerzo	0,31419646	1
Cliente 47	1,39221537	0,176147658
Cliente 46	0,2126253	0,09750832
Cliente 19	3,44733669	0,313155746
Cliente 17	1,91383083	0,210922022
Cliente 5	2,27693955	0,23512927
Cliente 49	2,37928065	0,24195201
Cliente 4	0,38650324	0,109100183
Cliente 43	0,70046018	0,130030646
Cliente 27	0,98782553	0,149188336
Cliente 50	0,49059237	0,116039458
Cliente 29	0,32025677	0,104683751
Cliente 28	0,32146714	0,104764442
Cliente 14	1,26715296	0,167810164
CD	0,79864006	0,13657597
Dist. Total	35,2476204	7,495559924

Anexo 10. Ruta zona 2

Solución	Distancia	Tiempo
Cliente 21	2,5977426	1,173182436
Cliente 32	1,768201825	0,201213422
Cliente 40	1,705136685	0,197009079
Cliente 26	0,132903057	0,092193504
Cliente 38	0,172609833	0,094840622
Cliente 24	0,227515182	0,098500979

Solución	Distancia	Tiempo
Cliente 19	0,075387595	0,08835914
Cliente 4	2,68676151	0,262450734
Cliente 3	1,083988968	0,155599231
Cliente 2	0,533701463	0,118913398
Cliente 1	0,225328826	0,098355222
Cliente 27	3,929699242	0,345313249
Cliente 39	1,341520521	0,172768001
Cliente 28	1,821480821	0,204765355
Cliente 30	0,61036508	0,124024305
Cliente 31	1,067450846	0,15449669
Cliente 33	1,206821713	0,163788081
Cliente 29	0,191718084	0,096114506
Cliente 43	1,714607512	0,197640467
Cliente 44	0,049030594	0,086602006
Cliente 41	0,350645095	0,10670964
Cliente 42	0,118343073	0,091222838
Cliente 46	1,068657579	0,154577139
Cliente 47	0,099566803	0,089971087
Cliente 45	0,393772543	0,109584803
Almuerzo	2,927295468	1
Cliente 50	2,107351713	0,223823414
Cliente 49	0,175746244	0,095049716
Cliente 5	1,071565935	0,154771029
Cliente 48	0,714523093	0,130968173
Cliente 35	0,726355731	0,131757015
Cliente 34	0,43094302	0,112062835
Cliente 36	0,662547176	0,127503112
Cliente 22	1,07343788	0,154895825
Cliente 23	0,191369531	0,096091269
Cliente 37	0,523294499	0,1182196
Cliente 14	0,075190655	0,08834601
Cliente 25	1,180386651	0,162025743
Cliente 17	0,138338428	0,092555862
CD	1,37440046	0,174959997
Dist. Total	38,54570353	7,541225534

Anexo 11. Ventanas de tiempo zona 1.

Nº	Cliente	V.T Abre	V.T Cierra	V.T Abre	V.T Cierra	Tiempo	Condicional		Acumulado
1	CD	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.				
2	Cliente 1	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,28599898	1	0	1
3	Cliente 2	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,1786306	1	0	1
4	Cliente 3	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,42300179	1	0	1
5	Cliente 4	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,58646716	0	1	1
6	Cliente 5	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,23541496	0	1	1
7	Cliente 14	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,35898395	0	1	1
8	Cliente 17	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,00028569	0	1	1
9	Cliente 19	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,12163395	1	0	1
10	Cliente 21	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,62939266	1	0	1
11	Cliente 22	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,94671707	1	0	1
12	Cliente 23	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,79644597	1	0	1
13	Cliente 24	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,91624711	1	0	1
14	Cliente 25	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,59175658	1	0	1
15	Cliente 26	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,86568614	0	1	1
16	Cliente 27	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,19117379	0	1	1
17	Cliente 28	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,08640935	0	1	1
18	Cliente 29	8:00 a.m.	5:00 p.m.			2,46551591	1	0	1
19	Cliente 30	8:00 a.m.	5:00 p.m.			2,35219056	1	0	1
20	Cliente 31	8:00 a.m.	5:00 p.m.			6,7164978	1	0	1
21	Cliente 32	8:00 a.m.	5:00 p.m.			3,79553887	1	0	1
22	Cliente 33	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,07836909	1	0	1
23	Cliente 34	8:00 a.m.	5:00 p.m.			5,47620792	1	0	1
24	Cliente 35	8:00 a.m.	5:00 p.m.			5,3786996	1	0	1
25	Cliente 36	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,20255195	1	0	1
26	Cliente 37	8:00 a.m.	5:00 p.m.			6,47736697	1	0	1
27	Cliente 38	8:00 a.m.	5:00 p.m.			6,9817256	1	0	1
28	Cliente 39	8:00 a.m.	5:00 p.m.			5,20255195	1	0	1
29	Almuerzo	12:00 p.m.	2:00 p.m.			5,20255195	1	0	1

Anexo 12. Ventanas de tiempo zona 2.

Nº	Cliente	V.T Abre	V.T Cierra	V.T Abre	V.T Cierra	Tiempo	Condicional		Acumulado
1	CD	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.				
2	Cliente 1	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,58061777	1	0	1

Nº	Cliente	V.T Abre	V.T Cierra	V.T Abre	V.T Cierra	Tiempo	Condicional		Acumulado
3	Cliente 2	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,48226254	1	0	1
4	Cliente 3	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,36334915	1	0	1
5	Cliente 4	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,20774992	1	0	1
6	Cliente 5	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,15184009	0	1	1
7	Cliente 14	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,11168393	0	1	1
8	Cliente 17	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,36626554	0	1	1
9	Cliente 19	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,94529918	1	0	1
10	Cliente 21	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,17318244	1	0	1
11	Cliente 22	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,80902705	0	1	1
12	Cliente 23	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,90511832	0	1	1
13	Cliente 24	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,85694004	1	0	1
14	Cliente 25	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,27370967	0	1	1
15	Cliente 26	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,66359844	1	0	1
16	Cliente 27	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	2,92593102	1	0	1
17	Cliente 28	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,30346437	1	0	1
18	Cliente 29	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,84188795	1	0	1
19	Cliente 30	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,42748868	1	0	1
20	Cliente 31	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,58198537	1	0	1
21	Cliente 32	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,37439586	1	0	1
22	Cliente 33	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,74577345	1	0	1
23	Cliente 34	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,52662812	0	1	1
24	Cliente 35	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,41456528	0	1	1
25	Cliente 36	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	6,65413123	0	1	1
26	Cliente 37	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	7,02333792	0	1	1
27	Cliente 38	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,75843906	1	0	1
28	Cliente 39	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	3,09869902	1	0	1
29	Cliente 40	8:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	5:00 p.m.	1,57140494	1	0	1
30	Cliente 41	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,23284007	1	0	1
31	Cliente 42	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,3240629	1	0	1
32	Cliente 43	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,03952842	1	0	1
33	Cliente 44	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,12613043	1	0	1
34	Cliente 45	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,67819593	1	0	1
35	Cliente 46	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,47864004	1	0	1
36	Cliente 47	8:00 a.m.	5:00 p.m.			4,56861113	1	0	1
37	Cliente 48	8:00 a.m.	5:00 p.m.			6,28280826	1	0	1
38	Cliente 49	8:00 a.m.	5:00 p.m.			5,99706906	1	0	1
39	Cliente 50	8:00 a.m.	5:00 p.m.			5,90201935	1	0	1

Nº	Cliente	V.T Abre	V.T Cierra	V.T Abre	V.T Cierra	Tiempo	Condicional		Acumulado
40	Almuerzo	12:00 p.m.	2:00 pm.			5,67819593	1	0	1

Anexo 13. Devoluciones rutas de la empresa.

Cientes	Acumulado Norte	Acumulado Centro	Acumulado Sur
1			
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	0
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	0
24	0	1	0
25	0	1	1
26	1	1	0
27	1	0	1
28	0	0	1
29	0	0	1
30	0	0	1
31	0	1	1
32	0	0	0

Clientes	Acumulado Norte	Acumulado Centro	Acumulado Sur
33	0	1	1
34	0	1	1
35	1	1	1
36	1	0	0
37	1	0	1
38	1	0	1
39	1	0	1
40	1	0	1
41	1	0	1
42	1	1	1
43	1	1	1
44	1	1	1
45	1	1	1
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	1	1	1
51	1	1	1
52	1	1	1
Devoluciones	9	11	6

Anexo 14. Cálculo de f_i .

Punto de Partida		Punto de Llegada		Distancia Real	Distancia Calculada (Haversine)	f_i
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
3,899	-76,302	3,893	-76,309	1,3	0,930	1,398
3,890	-76,312	3,880	-76,299	3,2	1,840	1,739
3,895	-76,302	3,892	-76,317	1,8	1,690	1,065
3,900	-76,303	3,883	-76,299	2,9	2,008	1,444
3,892	-76,312	3,871	-76,297	4	2,800	1,429
3,872	-76,297	3,887	-76,299	2,3	1,628	1,413
3,922	-76,295	3,900	-76,302	3,8	2,529	1,502
3,900	-76,300	3,905	-76,304	1	0,785	1,274
3,898	-76,307	3,899	-76,302	1,1	0,499	2,204

Punto de Partida		Punto de Llegada		Distancia Real	Distancia Calculada (Haversine)	f_i
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
3,905	-76,304	3,900	-76,301	1	0,738	1,355
3,899	-76,300	3,918	-76,294	2,5	2,213	1,129
3,891	-76,301	3,883	-76,299	1,2	0,946	1,268
3,900	-76,301	3,892	-76,312	2,9	1,532	1,893
3,901	-76,300	3,906	-76,303	1,2	0,664	1,808
3,912	-76,310	3,911	-76,291	2,8	2,147	1,304
3,912	-76,303	3,887	-76,299	3,6	2,861	1,258
3,892	-76,317	3,897	-76,299	2,4	2,050	1,171
3,899	-76,302	3,900	-76,301	1	0,199	5,017
3,900	-76,301	3,899	-76,300	0,23	0,161	1,425
3,887	-76,299	3,871	-76,297	1,8	1,765	1,020

Anexo 15. Matriz de distancias zona 1.

		1	2	3	4	5	6	15	18	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	Almuerzo		
Latitud		3,886669	3,907044	3,920669	3,917508	3,907043	3,886661	3,886672	3,889989	3,890075	3,895343	3,9121507	3,9136482	3,9129717	3,9100765	3,9216192	3,9102137	3,9051467	3,9061155	3,9080651	3,9082574	3,9100692	3,9129547	3,9145650	3,9100698	3,9115259	3,9135646	3,9080966	3,9075772	3,9141030		
Longitud		-76,296042	-76,296042	-76,295109	-76,295109	-76,297109	-76,289221	-76,300777	-76,302569	-76,312082	-76,321675	-76,302569	-76,304807	-76,306804	-76,308804	-76,296042	-76,297599	-76,299599	-76,301599	-76,303599	-76,305599	-76,307599	-76,309599	-76,311599	-76,313599	-76,315599	-76,317599	-76,319599	-76,321599			
1	CD	3,907043	-76,297109	0	0,2540075	0,2540075	2,7706389	3,9291253	1,4923149	1,5111648	0,4891584	0,6900029	0,9891003	0,7374495	1,5125179	1,6945551	1,7529886	1,8654172	3,0425598	1,2950544	0,7603266	0,8494878	0,6787027	1,0777813	1,4892551	1,9137482	1,9083516	1,9301200	1,7292085	1,003939	1,7626692	
2	Cliente 1	3,907044	-76,296043	0	0,2533383	0,2533383	2,7706389	3,9291253	1,4923149	1,5111648	0,4891584	0,6900029	0,9891003	0,7374495	1,5125179	1,6945551	1,7529886	1,8654172	3,0425598	1,2950544	0,7603266	0,8494878	0,6787027	1,0777813	1,4892551	1,9137482	1,9083516	1,9301200	1,7292085	1,003939	1,7626692	
3	Cliente 2	3,920669	-76,295109	0,2795309	0,2795309	0	0,6370104	3,9175073	3,9175074	2,9191704	3,9277125	3,9235543	3,9167841	3,9263971	3,9194905	1,9630547	1,6699876	1,5456511	2,2112932	1,9447618	1,7880807	1,7880807	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	1,9475492	
4	Cliente 3	3,917508	-76,295109	3,9291253	3,917508	0,6370104	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
5	Cliente 4	3,907043	-76,297109	3,9291253	3,907043	0,6370104	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
6	Cliente 5	3,895691	-76,289221	3,911346	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
7	Cliente 14	3,886471	-76,286077	3,8951504	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
8	Cliente 17	3,889199	-76,281394	3,8980029	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
9	Cliente 18	3,890275	-76,312082	3,890275	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
10	Cliente 21	3,895423	-76,302197	3,9144485	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
11	Cliente 22	3,9121507	-76,302569	3,9121507	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
12	Cliente 23	3,9136482	-76,304807	3,9136482	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
13	Cliente 24	3,9129717	-76,310094	3,9129717	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
14	Cliente 25	3,907043	-76,297109	3,915405	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
15	Cliente 26	3,9216192	-76,297599	3,9216192	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
16	Cliente 27	3,9102137	-76,302569	3,9102137	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
17	Cliente 28	3,9051467	-76,304702	3,9051467	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
18	Cliente 29	3,9061155	-76,302017	3,9061155	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
19	Cliente 41	3,906651	-76,289030	3,906651	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
20	Cliente 42	3,9062574	-76,296482	3,9062574	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
21	Cliente 43	3,9100692	-76,297055	3,9100692	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
22	Cliente 44	3,9129547	-76,292096	3,9129547	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
23	Cliente 45	3,9145650	-76,296130	3,9145650	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
24	Cliente 46	3,9105584	-76,307120	3,9105584	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807
25	Cliente 47	3,9115259	-76,308045	3,9115259	0,2795309	0,2795309	0	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807	3,907043	0,1698807

Anexo 16. Matriz de tiempos zona 1.

[illegible]

Anexo 17. Matriz de distancias zona 2.

[illegible]

Anexo 18. Matriz de tiempos zona 2.

[illegible]

Anexo 19. Ruta de la empresa zona norte.

Norte			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
1	-	-	-
19	0,36987261	0,10182693	0,10182693
9	0,04247947	0,08545727	0,1872842
11	0,03375236	0,08502092	0,27230512
21	0,85381301	0,12602395	0,39832907
13	0,53163252	0,10991493	0,508244
14	0,10812177	0,08873939	0,59698339
7	0,12313734	0,08949017	0,68647355
10	0,12741066	0,08970383	0,77617739
12	0,23904898	0,09528575	0,87146314
17	0,15654509	0,09116055	0,96262369
16	0,23870532	0,09526857	1,05789226
8	0,31418815	0,09904271	1,15693496
22	0,58731678	0,11269914	1,2696341
6	2,30359467	0,19851303	1,46814714
18	2,27693379	0,19717999	1,66532713
20	1,91383083	0,17902484	1,84435197

Norte			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
15	1,47606963	0,15713678	2,00148875
42	2,02101702	0,18438415	2,1858729
43	0,44999444	0,10583302	2,29170592
44	0,68552292	0,11760945	2,40931537
5	0,70039708	0,11835315	2,52766852
50	0,38657669	0,10266213	2,63033066
26	3,61598389	0,26413249	2,89446315
27	2,07920219	0,18729341	3,08175656
23	1,07516593	0,1370916	3,21884816
3	5,69863325	0,36826496	3,58711312
2	0,36046763	0,10135668	3,6884698
4	0,80598349	0,12363247	3,81210228
46	0,70259577	0,11846309	3,93056536
45	0,63914052	0,11529033	4,04585569
49	1,18254861	0,14246073	4,18831642
24	3,78329731	0,27249817	4,46081459
47	2,90061581	0,22836409	4,68917868
48	0,21267892	0,09396725	4,78314592
25	3,59188905	0,26292775	5,04607368
28	0,96473892	0,13157025	5,17764392
51	3,91240435	0,27895352	5,45659744
29	0,09708368	0,08818748	5,54478492
30	0,12703136	0,08968487	5,63446979
31	0,16048413	0,09135751	5,7258273
32	0,07650211	0,08715841	5,8129857
33	0,13042638	0,08985462	5,90284032
34	0,18237715	0,09245216	5,99529248
52	1,91732508	1	6,99529248
35	1,84289794	0,1754782	7,17077068
36	0,12382019	0,08952431	7,26029499
37	0,09732818	0,08819971	7,3484947
38	0,07808936	0,08723777	7,43573246
39	0,24065437	0,09536602	7,53109848
40	0,17516856	0,09209173	7,62319021

Norte			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
41	0,2295344	0,09481002	7,71800023
1	1,94252214	0,18045941	7,89845964
Dist. Total	54,8865518	7,89845964	-

Anexo 20. Ruta de la empresa zona centro.

Centro			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
1	-	-	-
19	0,36987261	0,10799147	0,10799147
9	0,04247947	0,08616526	0,19415674
11	0,03375236	0,08558346	0,2797402
21	0,85381301	0,14025417	0,41999436
13	0,53163252	0,11877547	0,53876983
14	0,10812177	0,09054142	0,62931125
7	0,12313734	0,09154246	0,72085371
10	0,12741066	0,09182734	0,81268105
12	0,23904898	0,0992699	0,91195095
17	0,15654509	0,09376964	1,00572059
16	0,23870532	0,09924699	1,10496758
8	0,31418815	0,10427918	1,20924675
22	0,58731678	0,12248775	1,3317345
6	2,30359467	0,23690628	1,56864078
18	2,27693379	0,23512889	1,80376967
20	1,91383083	0,21092202	2,01469169
15	1,47606963	0,18173794	2,19642963
5	2,85913607	0,27394237	2,470372
4	1,73301269	0,19886748	2,66923948
3	0,85510121	0,14034005	2,80957953
2	0,36046763	0,10736448	2,91694401
23	3,07533094	0,28835536	3,20529937
24	0,32143832	0,10476252	3,31006189
25	0,97423402	0,14828223	3,45834412

Centro			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
26	0,14212584	0,09280836	3,55115248
31	0,13336789	0,09222449	3,64337697
34	0,06963641	0,08797573	3,7313527
35	0,20291077	0,09686068	3,82821338
33	0,16707808	0,09447184	3,92268522
32	0,0514117	0,08676075	4,00944597
30	0,10713047	0,09047533	4,0999213
29	0,04118613	0,08607904	4,18600034
28	0,05807148	0,08720473	4,27320508
27	0,00731221	0,08382078	4,35702586
36	1,60058261	0,19003881	4,54706466
37	0,7617387	0,13411588	4,68118054
38	0,60296182	0,12353075	4,8047113
39	3,82751596	0,33850103	5,14321233
40	0,12703136	0,09180206	5,23501439
41	0,16048413	0,09403224	5,32904663
42	0,88631096	0,1424207	5,47146733
52	2,47497405	1	6,47146733
43	2,42556384	0,24503756	6,71650488
44	0,11993324	0,09132885	6,80783373
45	0,19217075	0,09614468	6,90397841
46	0,28962136	0,10264139	7,0066198
47	0,19478926	0,09631925	7,10293906
48	0,35598796	0,10706583	7,21000489
49	0,12107135	0,09140472	7,30140961
50	0,16041846	0,09402786	7,39543747
51	0,04495583	0,08633036	7,48176783
1	0,94373183	0,14624876	7,62801658
Dist. Total	38,1452483	7,62801658	-

Anexo 21. Ruta de la empresa zona sur.

Sur			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
1	-	-	-
19	0,36987261	0,10799147	0,10799147
9	0,04247947	0,08616526	0,19415674
11	0,03375236	0,08558346	0,2797402
21	0,85381301	0,14025417	0,41999436
13	0,53163252	0,11877547	0,53876983
14	0,10812177	0,09054142	0,62931125
7	0,12313734	0,09154246	0,72085371
10	0,12741066	0,09182734	0,81268105
12	0,23904898	0,0992699	0,91195095
17	0,15654509	0,09376964	1,00572059
16	0,23870532	0,09924699	1,10496758
8	0,31418815	0,10427918	1,20924675
22	0,58731678	0,12248775	1,3317345
6	2,30359467	0,23690628	1,56864078
42	2,33165561	0,23877701	1,80741779
43	0,00731221	0,08382078	1,89123857
44	0,05807148	0,08720473	1,9784433
45	0,04118613	0,08607904	2,06452234
46	0,10713047	0,09047533	2,15499767
51	0,82751725	0,13850112	2,29349879
50	0,28117766	0,10207848	2,39557727
47	1,2484326	0,16656214	2,56213941
48	0,18928004	0,09595197	2,65809138
49	0,33301692	0,10553443	2,76362581
37	0,91589612	0,14439304	2,90801885
35	0,66260387	0,12750689	3,03552574
33	0,55419691	0,12027976	3,1558055
31	1,58581568	0,18905435	3,34485984
30	0,52593483	0,11839562	3,46325547
29	0,45074531	0,11338299	3,57663845
34	0,75531348	0,13368753	3,71032599

Sur			
Cliente	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	T. Acumulado (Horas)
18	3,41506919	0,31100458	4,02133056
32	5,3299914	0,43866606	4,45999662
36	4,53167477	0,38544495	4,84544158
26	0,63031013	0,12535398	4,97079555
23	1,50172834	0,18344852	5,15424407
24	0,30620904	0,10374724	5,25799131
52	3,75391137	1	6,25799131
28	4,91762973	0,41117528	6,66916659
20	0,87701421	0,14180091	6,81096751
41	0,92593395	0,14506223	6,95602974
27	0,21268478	0,09751229	7,05354202
39	0,27610075	0,10174002	7,15528204
40	1,69991256	0,1966608	7,35194284
25	2,06388442	0,22092559	7,57286844
38	1,54931538	0,18662099	7,75948943
15	0,12022523	0,09134832	7,85083774
5	2,85913607	0,27394237	8,12478011
4	1,73301269	0,19886748	8,32364759
3	0,85510121	0,14034005	8,46398764
2	0,36046763	0,10736448	8,57135212
1	4,06406431	0,35427092	8,92562304
Dist. Total	58,8882824	8,92562304	-

Anexo 22. Instructivo solver.

The screenshot shows the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box. The 'Datos' tab is selected in the ribbon, and the 'Solver' button is highlighted. The dialog box contains the following fields and options:

- Establecer objetivo:** \$D\$88
- Para:** ☐ Máx ☒ Min ☐ Valor de: 0
- Cambiando las celdas de variables:** \$C\$48:\$C\$87
- Sujeto a las restricciones:**
 - \$C\$48:\$C\$87 = Todos diferentes
 - \$F\$87 <= 9
 - \$I\$48 = 1
 - \$I\$51 = 1
 - \$S\$49:\$S\$87 = 1
- ☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución:** Evolutionary
- Método de resolución:** Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Numbered annotations in the image indicate the following steps:

1. Ingresar a la opción de datos en la barra de herramientas.
2. Clic en el complemento Solver.
3. Clic en el botón "Resolver" sobre la ventana emergente.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bretin, A., Desaulniers, G., & Rousseau, L. M. (2021). The traveling salesman problem with time windows in postal services. *Journal of the Operational Research Society*, 72(2), 383–397.
<https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1678403>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Brkljač, M., Spajić, J., & Gajic, S. (2013, January). (PDF) *GAINING A COMPETITIVE ADVANTAGE BY INTEGRATION OF MARKETING AND LOGISTICS*.
https://www.researchgate.net/publication/267263724_GAINING_A_COMPETITIVE_ADVANTAGE_BY_INTEGRATION_OF_MARKETING_AND_LOGISTICS
- Da Silva, R. F., & Urrutia, S. (2010). A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows. *Discrete Optimization*, 7(4), 203–211.
<https://doi.org/10.1016/J.DISOPT.2010.04.002>
- Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(4), 393–410.
<https://doi.org/10.1287/OPRE.2.4.393>;WEBSITE:WEBSITE:INFORMS-SITE;JOURNAL:JOURNAL:JORS
- Feng, L., Huang, Y., Tsang, I. W., Gupta, A., Tang, K., Tan, K. C., & Ong, Y. S. (2022). Towards Faster Vehicle Routing by Transferring Knowledge from Customer Representation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(2), 952–965. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3018903>
- Gers, J. M., & Viggiano, C. (2016). Protective relay setting criteria considering DERs and distributed automation. *IET Conference Publications*, 2016(CP671).
<https://doi.org/10.1049/CP.2016.0069>

- Guasmayan Guasmayan, F. A. (2014). *Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genético modificado*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/4562>
- Han, M., Wang -, Y., Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2020). Improvement of solution using local search method by perturbation on VRPTW variants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1581(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012004>
- Jin, X., Qin, H., Zhang, Z., Zhou, M., & Wang, J. (2021). Planning of Garbage Collection Service: An Arc-Routing Problem with Time-Dependent Penalty Cost. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(5), 2692–2705. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2973806>
- Jozefowicz, N., Semet, F., & Talbi, E. G. (2008). Multi-objective vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 189(2), 293–309. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2007.05.055>
- Moura, A. (2019). A model-based heuristic to the vehicle routing and loading problem. *International Transactions in Operational Research*, 26(3), 888–907. <https://doi.org/10.1111/ITOR.12586>
- Nagothanekar, R., Kharode, D., & Ghosh, S. (2022). Combinatorial Optimization for Travelling Salesman and Vehicle Routing Problem. *Proceedings of International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems, IC3SIS 2022*. <https://doi.org/10.1109/IC3SIS54991.2022.9885540>
- Orlando, J., & Rivera, D. (2007). *Computación GRID aplicada a optimización combinatoria, para resolver problemas de enrutamiento en el transporte escolar*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/9534>
- Resolución 1384 de 2010 Ministerio de Transporte. (2010). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39357>

- Sajithabegam, A., & Menakadevi, T. (2024). An enhanced energy and distance based optimized clustering and dynamic adaptive cluster-based routing in software defined vehicular network. *Telecommunication Systems*, 87(4), 917–937. <https://doi.org/10.1007/S11235-024-01194-7/METRICS>
- Sgarro, G. A., Santoro, D., & Grilli, L. (2024, October). *Scopus - Document details - Ant Colony Optimization for solving Directed Chinese Postman Problem*. <https://www-scopus-com.bd.univalle.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85197238460&origin=inward&txGid=d04125bd779156f6216b5c13b8225467>
- Solomon, M. M., & Derosiers, J. (1988). TIME WINDOW CONSTRAINED ROUTING AND SCHEDULING PROBLEMS. *Transportation Science*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.1287/TRSC.22.1.1;ISSUE:ISSUE:10.1287/TRSC.1988.22.ISSUE-1;JOURNAL:JOURNAL:TRSC;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Zhang, H., Ge, H., Yang, J., & Tong, Y. (2021). Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering 2021 29:1*, 29(1), 195–221. <https://doi.org/10.1007/S11831-021-09574-X>
- Zhang, Y. (2025). *Review of evolutionary computation*. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/13562/3060608/Review-of-evolutionary-computation/10.1117/12.3060608.full>