Diseño y Desarrollo de una Aplicación para la Planeación de Rutas con condiciones de Flota Capacitada y Ventanas de Tiempo por medio de Algoritmos Heurísticos y Metaheurísticos

Edixon Fabian Perez

Cod. 20111015007

Juan David Suarez

Cod. 20111015009

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingenieira

Proyecto curricular de Ingenieria Industrial

Bogota D.C. 2017

Diseño de una Aplicación para la Planeación de Rutas con condiciones de Flota Capacitada y Ventanas de Tiempo por medio de Algoritmos Heurísticos y Metaheurísticos

Edixon Fabian Perez

Cod. 20111015007

Juan David Suarez Pacheco

Cod. 20111015009

Proyecto de grado para optar por el titulo de Ingeniero Industrial en la modalidad de Monografia

Director

MSc. Ing. Cesar Amilcar Lopez Bello

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingenieira

Proyecto curricular de Ingenieria Industrial

Bogota D.C. 2017

Tabla de Contenido

Introducción 7
Objetivos 9
Objetivo general 9
Objetivos específicos 9
1. Capitulo I. Marco Teórico 10
1.1. Logistica 10
1.1.1. Logistica de distribucion 11
1.1.2. Problema de enrutamiento de vehiculos 12
1.1.3. Complejidad del problema 18
1.1.4. Metodos de solución 21
1.1.5. Metaheurística 25
2. Capitulo II. Desarrollo Metodológico 26
2.1. Etapa 1: Selección de la línea de estudio 26
2.2. Etapa 2: Revisión de la literatura existente 27
2.3. Etapa 3: Identificación de las características del modelo 27
2.4. Etapa 4: Elección de los algoritmos a utilizar 27
2.5. Etapa 5: Elección del entorno de desarrollo 28
2.6. Etapa 6: Diseño y validación. 28
3. Capitulo III. Diseño de la aplicación 29
3.1. Supuestos del modelo. 29
3.2. Modelo fundamental 31
3.2.1. Parámetros 31
3.2.2. Variables de decisión. 31
3.2.3. Función objetivo. 32
3.2.4. Restricciones del modelo. 32
3.3. Modelo funcional 33
3.3.1. Información de entrada. 34
3.3.2. Algoritmo de georeferenciacion 36
3.3.3. Funcion de costo. 41
3.3.4. Agrupamiento de datos 44
3.3.5. Algoritmo de solucion inicial 51

3.3.6. Mejoramiento iterativo 65
3.3.7. Validación de resultados 68
Referencias 83
Anexos 89

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Desarrollo metodológico por etapas. 26
Ilustración 2. Supuesto de carga homogénea. 29
Ilustración 3. Supuesto de viajes múltiples. 30
Ilustración 4. Supuesto de único deposito. 30
Ilustración 5. Fases de diseño del modelo funcional. 33
Ilustración 6. Atributos obligatorios de ubicación. 37
Ilustración 7. Modos de viaje 37
Ilustración 8. Sistema de unidades 37
Ilustración 9. Tiempos de arribo y llegada. 38
Ilustración 10.Direccion URL de consulta. 38
Ilustración 11. Resultados de la consulta en la API de Google Maps. 39
Ilustración 12 Diagrama de flujo del algoritmo de georreferenciación. 40
Ilustración 13. Representacion gráfica de Haversine. 46
Ilustración 14. Diagrama de flujo de agrupacion de datos. 50
Ilustración 15. Diagrama de flujo de vecino mas cercano. 53
Ilustración 16. Diagrama de flujo del algoritmo de Clarke and Wright 57
Ilustración 17. Diagrama de flujo de la solución inicial. 64
Ilustración 18. Movimientos de intercambio 66
Ilustración 19. Movimientos de Insercion. 66
Ilustración 20. Localizacion de los clientes. 70
Ilustración 21. Agrupamiento de datos. 72
Ilustración 22. Costos generales por fase. 73
Ilustración 23. Grafico Comportamiento Costos 73
Ilustración 24. Ruta Nro 1. 73
Ilustración 25. Cluster Ruta Nro 1. 73
Ilustración 26. Ruta Nro 2 74
Ilustración 27. Cluster Ruta Nro 2. 74
Ilustración 28. Ruta Nro 3 75
Ilustración 29. Cluster Ruta Nro 3. 75
Ilustración 30. Ruta Nro 4 76
Ilustración 31. Cluster Ruta Nro 4. 76
Ilustración 32. Ruta Nro 5 77
Ilustración 33. Cluster Ruta Nro 5. 77
Ilustración 34. Ruta Nro 6. 78
Ilustración 35. Cluster Ruta Nro 6. 78
Ilustración 36 Ruta Nro 7 79
Ilustración 37. Cluster Ruta Nro 7. 79
Ilustración 38 Ruta Nro 8 80
Ilustración 39. Cluster Ruta Nro 8. 80
Ilustración 40 Ruta Nro 9 81
Ilustración 41. Cluster Ruta Nro 9. 81

Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz de distancias. 51
Tabla 2. Elección de distancia minima 52
Tabla 3. Asignación de cliente. 52
Tabla 4. Ruta generada de Vecino mas cercano 52
Tabla 5. Matriz de ahorros. 54
Tabla 6. Matriz de ahorros ajustada. 55
Tabla 7. Eleccion del ahorro maximo. 55
Tabla 8. Asignación del cliente con matriz de ahorros. 56
Tabla 9. Ruta generada con algoritmo de Clarke and Wright 56
Tabla 10. Informacion de clientes. 69
Tabla 11. Informacion de camiones. 70
Tabla 12. Costos de gasolina y aceite. 71
Tabla 13. Costos de llantas y mantenimientos. 71
Tabla 14 Ruta Nro 1. 74
Tabla 15 Ruta Nro 2 74
Tabla 16 Ruta Nro 3 75
Tabla 17 Ruta Nro 4 76
Tabla 18 Ruta Nro 5 77
Tabla 19 Ruta Nro 6. 78
Tabla 20 Ruta Nro 7 79
Tabla 21 Ruta Nro 8 80
Tabla 22. Ruta Nro 9 81

Introducción

Hoy en día las compañías cada vez mas buscan adaptarse a los cambios continuos del entorno, donde variables como lo son la competencia, los costos de materia prima, las necesidades y expectativas de la fuerza de trabajo, hacen que las decisiones para generar una diferenciación en el producto final, sean cada vez más cambiantes y difíciles, por lo que se hace necesario que se adquieran o desarrollen herramientas que mejoren la gestión de estas decisiones garantizando resultados más confiables y reduciendo la variabilidad que muchas veces la "experiencia" puede generar.

Ahora bien, una de las áreas que permite generar un aporte al que pueda dar las condiciones del producto o servicio, es la logística. Donde una correcta gestión a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, desde el manejo de inventarios hasta la distribución del producto, puede significar ahorros significativos que terminaran afectando directamente a las ganancias de cualquier organización.

Por esta razón, el presente trabajo muestra el diseño de una herramienta útil y practica, enfocada en la distribución de productos, resolviendo el clásico problema de VRP (Vehicle Routing Problem) con condiciones de cumplimiento de ventanas de tiempos y flota capacitada desde una óptica diferente a la optimización matemática planteada por muchos autores para dar solucion con este problema, ya que aunque puede generar el valor optimo de la planeación de rutas, aspectos como rigidez y facilidad de uso, hacen de este aplicativo una opción mas conveniente a sus necesidades.

Con lo anterior, se diseña un aplicativo que a través de métodos heurísticos y metaherusticos, pueda ofrecer al usuario final la posibilidad de realizar la planeación de rutas de una manera simple y flexible para un uso continuo, con una interfaz sencilla que a diferencia de la optimización matemática permite que las condiciones de infactibilidad se puedan tratar en tiempor real por medio de mecanismos que permiten relajar considerablemente la planeacion, por medio de modificaciónes de ventanas de tiempo, tanto de clientes como de la empresa, exclusión de uno o varios clientes durante la asignación de rutas, agrupamiento de clientes con base en la capacidad de la flota disponible y demás opciones que permite a la organización ahorrar tiempo y ajustar la solucion a las preferencias y necesidades que surjan.

Otra apreciación importante a tener en cuenta, es la existencia de aplicativos que se ofrecen en el mercado que generan excelentes respuestas en tiempos de computo cortos, pero que su principal inconveniente, en especial para la pequeña y mediana empresa, son los altos costos de estos programas, por lo que se propone en este trabajo solventar ese inconveniente desarrollando la aplicación en un entorno que casi todo el mundo posee en sus computadores, el cual es Microsoft Office a través de Visual Basic para Excel, el cual permite desempeñar los algoritmos que se plantean de una manera aceptable ofreciendo buenos resultados y sin la necesidad de crear o desarrollar nuevos entornos para su funcionamiento.

Para lograr el desarrollo de esta aplicación, se necesita tener una estructura basada en 3 aspectos fundamentales, los cuales son, conocer en primera instancia, que tipo métodos de solucion y alternativas han ofrecido otros autores al respecto de este tema, que problemas y que ventajas encontraron a lo largo de sus modelos y conocer que otras características han podido implementar para que la planeación de rutas pueda ser lo más cercano a la realidad; después, como en todo proyecto, es necesario tener una metodología, que permita delimitar y aclarar el rumbo que tendrá el desarrollo de este trabajo con el fin de conseguir los objetivos planteados; y por último, describir de manera detallada el objeto de este trabajo, el diseño de la aplicación de rutas, examinando como se planteó su funcionamiento y describiendo cada una de las partes de lo componen para al final poder realizar una validación y analisis de resultados. Todo lo anterior, esta explicado en diferentes capítulos para darle al lector una mayor profundidad y detalle del trabajo que se desarrolló.

En el Capítulo I, se encuentra el marco teórico, el cual muestra todo el conocimiento que fue recolectado y que sirve de base para los modelos usados en la aplicación. Se comienza partiendo de los conceptos más generales del área de estudio, para ir llegando a temas más específicos como lo son los problemas ligados al agrupamiento de datos, la generación de soluciones desde la optimización y desde la utilización de algoritmos heurísticos y metaheurísticos, con las respectivas caracterisiticas que cada autor otorga a su modelo en términos de condiciones de flota, de clientes, de costos, etc.

En el Capítulo II, se encuentra descrita la metodología usada en el desarrollo de este trabajo, mostrando los pasos bajo los cuales nos basamos para partir de una serie de problemas ya descritos hasta el punto de solucionarlos mediante la programación y desarrollo de un aplicativo flexible que genera una planeación de rutas para la distribución de productos en una ciudad.

En el Capítulo III, se muestra el diseño de la aplicación, en la que, por medio de varias fases, se explica cómo se realizó el tratamiento de datos, además de explicar los modelos utilizados y los arreglos realizados para ajustarlos aún más a las necesidades y expectativas que pueda tener el usuario final; se establecen los supuestos basados para el correcto desempeño de la aplicación y se demuestra el desempeño de la misma a través de una validación y analisis de resultados.

Por último, se establecen las conclusiones de este trabajo, con el fin de detectar el cumplimiento de los objetivos, aportes que la aplicación hace al problema clásico del problema del ruteo de vehiculos y las posibles mejoras y aportes a futuro que se pueden realizar.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y desarrollar una aplicacion de uso general estableciendo la planeación de rutas para la distribución de pedidos, con condiciones de flota capacitada y ventanas de tiempo de una manera flexible en un área geográfica delimitada. A través de la implementación de algoritmos Heuristicos y Metahuristicos, con respuestas de buena calidad.

Objetivos específicos

Investigar los métodos de solución existentes con respecto al problema de ruteo para fundamentar el diseño y desarrollo de cada una de las fases de la aplicación.

Establecer las variables críticas de la aplicación desarrollada para delimitar las condiciones y limitaciones que tendrá la aplicación en cada una de las fases de diseño y desarrollo.

Diseñar los algoritmos de agrupación, construcción de soluciones y mejoramiento por procesos iterativos de manera que permita adaptar lo extraído en la literatura a las condiciones reales de la aplicación.

Validar la aplicación desarrollada con el fin de establecer el alcance y desempeño de la misma en una instancia establecida previamente con condiciones de flota capacitada y ventanas de tiempo.

1. Capitulo I. Marco Teórico

Para la realización del marco referencial que sostiene y da forma a lo realizado en futuros capítulos, se decide tomar una estructura basada en una revisión exhaustiva de diversos autores, partiendo desde las temáticas mas generales que envuelven al área de estudio de la aplicación, hasta temas mas específicos referentes a las metodologías de solucion del problema en cuestión.

1.1.Logistica

La logística juega un papel importante dentro del planteamiento de trabajos como el que se expondrá en este trabajo. La logística forma un conjunto de actividades en donde La planeación de rutas tiene un papel importante. De acuerdo a (Ballou, 2004) la logística "es un campo relativamente nuevo, el cual lo describe como un proceso en el que sus actividades tienen impacto en la elaboración de bienes y servicios además de que estos estén disponibles para los clientes en el momento y lugar que ellos deseen".

De igual manera, Jordi Pau (Jordi Pau, De Navascués, & Esteban, 1998) declara que la logística agrupa actividades encaminadas al ordenamiento de flujos que permitan coordinar los recursos con el fin de asegurar el mayor nivel de servicio en diferentes niveles, como lo son en calidad, cantidad y lugar con el menor costo posible.

Ballou en otro fragmento de su libro comenta que según la **CML** la logística:

> *"Es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamientos eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes".*(Ballou, 2004)

La importancia de la logística, radica en los constantes cambios del entorno, el aumento de la competencia y los mercados. La logística esta llamada a tener un papel importante en la empresa debido a que su enfoque está en el servicio al cliente, por lo que todo sistema logístico debe coordinar sus actividades de tal manera que maximicen el valor añadido a través del servicio proporcionado y al mismo tiempo obtener un coste que resulte competitivo. (Jordi Pau et al., 1998)

Por otro lado, para Diana Ballesteros,_ (Paola, 2008, p. 217) la red logística "está conformada por proveedores, centros de producción, minoristas tanto para materia prima, inventarios de productos en proceso y productos terminados que fluyen a través de todas las instalaciones de la cadena de suministro". A su vez, ella expresa que la meta de la logística es ser eficaz tanto en su gestión como en su costo en todo el sistema y el objetivo debe estar encaminado a minimizar los costos del sistema, que están segregados en costos de transporte, costos de distribución y costos de inventarios.(Paola, 2008, p. 218)

De acuerdo a la investigación hecha por Marco Alberto Valenzo, (González & Cabrera, Jorge Antonio Silvestre Acevedo Martínez, 2017, p. 617), establece que la logística ha sufrido una evolución, desde que fue descrita primeramiente desde la milicia con el fin de mostrar la organización de tropas en aspectos de mudanza, alojamiento o abastecimiento, para luego pasar a los años 50 y 60 en donde apareció el concepto de sistemas que integran varias funciones con el fin de bajar los costos a través de compensaciones de los gastos funcionales; y llegando desde los años 80 la consideración de la distribución física como respuesta a la desregularización del transporte y aumento y variación de las condiciones del entorno. También afirma que la logística "ofrece una ventaja competitiva distinta en aspectos de velocidad de entrega, confiabilidad, disponibilidad y atención al cliente." (González & Cabrera, Jorge Antonio Silvestre Acevedo Martínez, 2017)

Para Juan Pablo Antún, (Antun, De Buen Richkarday, & Aguerrebere Salido, 1995)El concepto de la logística parte de la lógica,

> "*como la ciencia de discernir los pensamientos por lo que la logística es la disciplina que busca formular de un modo riguroso la lógica, por medio de la racionalización de los conductos de flujos, y con una concepción moderna, la regulación de flujos físicos de mercancías".*

De igual manera el concepto de logistica ha evolucionado de acuerdo al concepto de desplazamiento en la que de forma pasiva, se concibe como el proceso obligatorio entre la producción y la distribución, haciendo que su orientación está en la gestión de operaciones de transporte y la minimización de sus costos; de forma activa. La planeación de rutas toma un rol importante para dicha minimización de costos dentro de la logística.

1.1.1. Logistica de distribucion

Este trabajo busca enfocarse en la logística de distribución en características como el transporte , las instalaciónes y recursos.Se ha visto en los últimos años que en la practica se han experimentado cambios constantes en el transporte y la distribución, donde la localización de los recursos e instalaciones dentro de una red logística se torna en una decisión estratégica

Para el productor, es necesario que sus productos sean colocados en el mercado, pero aun así, no necesariamente el productor realiza la transacción con el consumidor final y es a través del canal de comercialización de diferentes agentes: el productor, el cliente(…) . (Antun et al., 1995). lo que la logística de distribución otorga es la oportunidad de generar dicha transacción a través del enrutamiento de clientes

Chopra, se refiere sobre la distribución como el movimiento del producto de un lugar a otro en su recorrido desde el principio de la cadena de suministro hasta el cliente. El transporte y la distribución es una directriz importante de la cadena.(Chopra & Meindl, 2008).

1.1.2. Problema de enrutamiento de vehiculos

El problema de enrutamiento de vehiculos es la base del aplicativo que se desarrolla en este trabajo, en donde sus diferentes variantes, que se han generado a traves de los años, permite establecer condiciones que consideramos mas pertinentes a las caracteristicas de la distribucion de productos en una ciudad.

Inicialmente, (Coelho et al., 2016) describe el problema de ruteo de vehículos como la manera de encontrar rutas que permitan entregar bienes desde un depósito central a una serie de clientes dispersos geográficamente, en el que además considera ser un problema altamente conocido y muy estudiado dentro de la comunidad científica con múltiples variantes adaptables al entorno.

Por otro lado, Jean-François Cordeau, encuentra al problema de planeación de rutas como el corazón de la administración de la distribución, debido a que las condiciones que lo rodean varían de acuerdo a las necesidades de la empresa y del cliente y cuyo objetivo y restricciones en la práctica puede diferir bastante.(Cordeau, Laporte, Savelsbergh, & Vigo, 2007a)

1.1.2.1. TSP

Para entender primero todo lo que encierra el problema de enrutamiento de vehiculos, es necesario conocer el origen de toda esta área de estudio dentro de la logística de distribución, por lo que hablar del TSP (Travel Salesman Problem), resulta necesario para comprender como empezó a darse una solución a este tipo de problemas.

Este tipo de modelación matemática fue principal para el surgimiento del VRP, cuyo modelo sirve de base principa para el modelo propuesto en este trabajo. Este problema consiste en que una ruta debe visitar cierta cantidad de clientes en un solo viaje, de tal manera que inicie y termine su recorrido en el punto de partida, y con el objetivo de minimizar el costo de dicho recorrido.(Medina, Rotta, & Castro, 2011, p. 37).

1.1.2.2. VRP

El problema de ruteo de vehículos (VRP) tiene como fin encontrar rutas que permitan entregar bienes desde un depósito central a determinados clientes en un área geográfica (Coelho et al., 2016, p. 1). El problema de ruteo de vehículos Según (Medina et al., 2011, p. 36) “plantea la búsqueda de la solución óptima con diferentes restricciones tales como: número de vehículos, su capacidad, clientes y demanda de los clientes, entre otras.”

Para Muchas empresas el problema de ruteo de vehículos es de vital importancia en la distribución y la logística, debido a la necesidad de encontrar rutas más efectivas, que generen un menor costo total de la planeación como en una alta satisfacción del cliente.(Coelho et al., 2016, p. 1)

(Cordeau, Laporte, Savelsbergh, & Vigo, 2007b, p. 1) afirma que el problema de ruteo de vehículos se encuentra en todo el centro de la administración de la distribución, esto es debido a que las condiciones, los objetivos y las restricciones de esta, en la práctica pueden variar bastante.

Debido a las necesidades de adaptar los Problemas de ruteo a las características de la distribución en la práctica, El problema de Ruteo VRP ha tomado Variantes y han surgido distintos tipos de VRP. Los enfoques de solución de las variantes de la VRP puede originarse al contener cierto tipo restricción adicional, Como lo expone Paolo Toth y Daniele Vigo (Toth & Vigo, 2002)

El problema de ruteo de vehículos (VRP) se cataloga como un problema de optimización combinatoria cuyas soluciones han sido dadas a través de métodos exactos y métodos heurísticos. (Cordeau et al., 2007a, p. 2). En el que se logra determinar una serie de rutas, cada una establecida por un solo vehículo que empieza en él y termina en el depósito en tanto todas las restricciones operacionales y requerimientos de los clientes sean cumplidas, y y se minimice el Costo Global del recorrido.(Toth & Vigo, 2002)

Se puede observar en estudios como el Realizado por Li Song (S. Li & Chen, 2010) en el que realizan VRP simple con un depósito con la diferencia de que los investigadores agregaron un método de cooperación de Vehículos. Bajo esta estrategia, la capacidad de cada vehículo se aplica de forma más completa y los tiempos de carga son menores que en una estrategia descoordinada.

Otro ejemplo de la implementación de una restricción o característica adicional al VRP simple, como lo es conservar el estado de productos perecederos se puede observar en la investigación de Byung Duk Song y Young Dae Ko en el que plantearon un modelo matemático no lineal para analizar el desempeño y la disponibilidad de vehículos de tipo refrigerado para entrega de productos alimenticios perecederos multi-producto. (Song & Ko, 2016).

Es importante tener en cuenta que el VRP es un problema que ha sido estudiado de manera extensa, donde han generado multiples variables, adicionando características que permitan ajustar el ruteo de vehiculos a las condiciones reales de diferentes empresas y los entornos que los rodean. Es por eso, que en este trabajo se exponen como características especiales las ligadas a capacidad, composición de la flota y existencia de ventanas de tiempo, que posteriormente se explicaran.

I. VRP capacitado

El CVRP es un problema de ruteo, en donde la capacidad de la flota es restrictiva para la formulación. El CVRP simple, generalmente se muestra como los clientes les corresponde una demanda determinística y todos los vehículos son iguales y salen de un centro de distribución." (Medina et al., 2011, p. 37). El CVRP se define como la extension del m-TSP (m viajeros) en donde cada vehículo tiene una capacidad igual y la cantidad de rutas no es fijada de antemano como en el TSP y en el m-TSP. (Medina et al., 2011, p. 37).

El CVRP encuentra una cantidad exacta de rutas con mínimo costo definido como la suma de los costos de los arcos pertenecientes a los recorridos, de tal manera que cada recorrido visita el centro de distribución, cada centro de consumo es visitado por exactamente un vehículo y la suma de las demandas de los centros de consumo visitados no excede la capacidad del vehículo. Cuando el costo de ir de un centro de consumo *i* a otro centro de consumo *j* es igual al costo de ir del centro de consumo *j* al centro de consumo *i* el problema es llamado CVRP Simétrico (*Symmetric CVRP*, SCVRP) en caso contrario se denomina CVRP Asimétrico(Medina et al., 2011)

Diferentes soluciones de este tipo de VRP, como el dado por Laporte y Norbert propusieron un algoritmo basado en Branch and Bound. Muchos algoritmos de branch and bound han estado disponibles para la solución de este tipo de problemas basados también en relajaciones combinatorias. (Cordeau et al., 2007b). Aunque diversos Investigación han utilizado diferentes formas de solución como el realizado por (Gomez, Priore, Lopez, & García, 2013) quienes consideraron el problema de CVRP con el objetivo de minimizar el tiempo de recorrido. La principal contribución de este trabajo es el desarrollo de soluciones heurísticas iniciales y la utilización de la Búsqueda Local Iterativa (ILS) para mejorar la solución del algoritmo estándar con muy pocos parámetros.

II. VRP con ventanas de tiempo

Teniendo en cuenta que muchas veces los clientes, por diferentes razones, no pueden ser atendidos en cualquier momento del dia, surgen las ventanas de tiempo como una restricción que condiciona a la flota a visitar al cliente solo en la franja horaria que este haya establecido previamente.

El VRPTW es un tipo de variación del problema de ruteo en el que se incorpora las ventanas de tiempo. En este tipo de VRP conocemos la localización, la demanda y la ventana de entrega del producto al cliente. (Toth & Vigo, 2002) y en el cual hay una restricción adicional de una ventana de tiempo asociada en cada cliente, las cuales son intervalo dentro del cual el consumidor debe ser atendido.(Medina et al., 2011)

En la revisión realizada se puede observar diferentes posturas con respecto a la forma en que se pueden tomar las ventanas de tiempo. Ya sean de una forma de Ventanas de tiempo Estrictas o duras, o por Ventanas de tiempo suaves en los cuales se modifica o reemplaza las Ventanas de tiempo con tal de relajar el problema de ruteo VRPTW

Un caso de modificación a las ventanas de tiempo para relajar el VRP, lo muestran Jun Li y Zhang en su investigación. Ellos elaboraron un VRP con tiempos para ser atendidos los clientes. En este caso, la ventana de tiempo es reemplazada por un tiempo de tiempo difuso que puede representar las preferencias de los clientes. y proponen un modelo matemático multiobjetivo para el problema de las restricciones de tiempo.(J. Li & Zhang, 2014) .

(Hsu, Hung, & Li, 2007) Formula una variante del modelo VRPTW, realizando una modificación de las funciones objetivo SVRPTW. para obtener rutas de entrega óptimas, cargas, despacho de flotas y tiempos de salida para entregar alimentos perecederos. (Chen, Hsueh, & Chang, 2009, p. 1-9) genero un modelo matemático no lineal de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo en donde cualquier vehículo que llegue tarde incurriré en una penalización. Si el vehículo llega temprano tiene que esperar hasta el comienzo de la ventana de tiempo.

En el caso del articulo (Govindan, Jafarian, Khodaverdi, & Devika, 2014) podemos ver que plantean la ventana de tiempo suave. Ellos introducen un problema de encaminamiento de ubicación de dos escalones con ventanas de tiempo (2E-LRPTW) en el cual incluyen un costo de penalización por entregas fuera de la ventana de tiempo. Al igual se observa en el trabajo realizado por (Zhang & Chen, 2014) en el que busca resolver el VRP en un escenario de múltiples productos. Zhang formula una función un costo de penalización por violación de ventana de tiempo.

III. VRP con condiciones de flota homogénea y heterogenea

El VRP con flota heterogénea puede ser dividido de acuerdo a las diferentes características, incluido la disponibilidad del vehículo, que puede ser limitada o ilimitada y los costos de los vehículos, que pueden ser fijos o variables. (Penna, Subramanian, & Ochi, 2013)

Cuando la flota es limitada el número de vehículos y su respectiva capacidad son conocidas y el modelo debe tener en cuenta la restricción de disponibilidad de flota. Por otro lado, cuando la flota es ilimitada “el objetivo de la solución estará en encontrar la mejor composición de flotas considerando los costos de los vehículos y su respectiva capacidad.” (Coelho et al., 2016, p. 2)

En la revisión realizada se puede extraer 2 clases de VRP teniendo en cuenta la característica de su flota para la distribución.

- *VRP homogéneo*

Este tipo de flota presenta "características comunes en las que todos los nodos manejan el mismo recurso como distancia, ventanas de tiempo, retornos y entregas fraccionadas".(Medina et al., 2011, p. 4)

- *VRP heterogéneo.*

Este tipo de flota presenta costos y capacidades de los vehículos diferentes. Según (Olivera, 2004, p. 12),este tipo de VRP se le llama Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem o FSMVRP. se suele utilizar este modelo, aunque no siempre refleja la realidad. En el FSMVRP no solo se debe decidir las rutas, sino la composicion de la flota de vehículos a utilizar.

(Sethanan & Pitakaso, 2016) Desarrollaron un modelo de programación entero mixto. Las características de la flota de vehículos son que tiene capacidad heterogénea y recibe multiproducto (leche cruda de diferentes centros). El objetivo es minimizar la programación de transporte de la leche cruda, teniendo en cuenta que dichos costos son asociados a la limpieza de los diferentes tanques de capacidad heterogénea además de los costos de combustible. Al igual que (Tarantilis & Kiranoudis, 2001) , quienes elaboraron un problema de ruteo VRP simple con la variante de la restricción de una flota con diferentes capacidades. Este fue enfocado hacia la distribución de leche fresca añadiendo con ello la característica de enrutamiento del vehículo de flota fija heterogénea (VRP)

En el caso del articulo (Markov, Varone, & Bierlaire, 2016) en el que se evidencia el nivel de complejidad que los algoritmos de solución. La contribución de los autores es la integración de una flota fija heterogénea en el problema de enrutamiento de vehículos con instalaciones intermedias en la recogida de residuos. Las flotas se convierten en heterogénea ya se por ingreso de vehículos nuevos reemplazo de los antiguos.

IV. VRP Mixto

En la revisión literaria se pudo evidenciar que varios autores, relacionaban y desarrollaban más de un tipo de VRP en una misma modelación o formulación. Esto evidenciaba la necesidad de dichos autores de agrupar las diferentes características de cada VRP.

Un ejemplo que afirma lo anunciado, es la investigación realizada por (Osvald & Stirn, 2008) el cual formulo un VRP de encaminamiento de vehículos con ventanas de tiempo y tiempos de viaje dependientes del tiempo (VRP TWTD).En donde las características del VRP TW en el cual añade restricción de ventanas de tiempo y del VRPTD, que se enfoca en que los tiempos de viaje entre dos lugares depende tanto de la distancia como de la hora del día son añadidos en una sola modelación de VRP. Así mismo pasa con el problema de ruteo doble con

pilas múltiples (DVRPMS), el cual toma la necesidad de optimizar el transporte intermodal en el contexto europeo.(Da Silveira, Benedito, & Dos Santos, 2016)

Se pueden relacionar características como multi-trip, restricciones de Docking y flota heterogénea, en donde se busque resolver a través de un VRP con flota heterogénea real a gran escala VRP con múltiples viajes y restricciones de acoplamiento el problema de algunos vehículos son incapaces de servir a algunos clientes en particular, disponiendo de una flota heterogénea.(Coelho et al., 2016)

V. VRP Multiobjetivo.

Hasta este punto hemos revisado según la literatura los diferentes tipos de VRP de acuerdo a la adicion de diversas características para ajustar a la realidad, ahora por otro lado, es importante contemplar los costes de distribución cuando se examinan en una única función de costo, por lo que indagaremos en un tipo de VRP donde dichas funciones se consideran como objetivos separados o tambien llamado multiobjetivo. (García-sánchez, Sharman, Cid, Card, & Sharman, n.d.)

El estudio realizado por investigadores de la Universidad de Sevilla, afirman sobre el problema de la optimización multiobjetivo MOP que: “En MOP los objetivos son múltiples y pueden ser conflictivos, por lo que se prohíbe elegir una solución que sea óptima con respecto a un solo objetivo ya que diferentes objetivos contribuyen al resultado global (…)”. (Molina, Eguia, Racero, & Guerrero, 2014, p. 2) Con lo que la utilización del multiobjetivo dentro del ámbito del VRP añade suposiciones más realistas, y el modelo es más eficiente comparado con MOP.

De igual manera, Gong uso la necesidad de incorporar un Multiobjetivo en la construcción del modelo, VRP problema de enrutamiento de vehículos con ventana de tiempo. Por lo que el fin de la multiobjetividad para este artículo es incluir los costos fijos de los vehículos, el costo de operación, la pérdida de vida útil y el costo por defecto, y con ello reducir los costos de distribución bajo el entorno de restricción de capacidades (Gong, 2010)

En la literatura consultada, diversos autores formularon modelos eficientes a partir de un VRP simple añadiendo características como una Flota Heterogénea Fija y las restricciones de tiempo (HVRPTW). Un ejemplo lo podemos observar en el modelo propuesto por Molina , en el cual se pretende generar un impacto ambiental de la distribución, recurriendo al multiobjetivo minimizando los costos de los tres objetivos del modelo tales como minimizar los costos internos totales y minimizar las emisiones de 2 tipos de gases.(Molina et al., 2014, p. 4).

VI. Otros VRP

En la revisión literaria llevada a cabo, se logro identificar diferentes variantes al VRP original. Estas variantes son productos de las diferentes investigaciones realizadas por la academia y las empresas, con el fin de abarcar cada vez más el amplio tema de la distribución. y así con cada variante de VRP se puede entra en detalle en ciertas características de la distribución que se ven en la práctica.

Podemos observar más variantes como las que anuncia (Tarantilis & Kiranoudis, 2002)en el problema de distribución de carnes llevado a un problema de enrutamiento de vehículos multipuesto abierto (OMDVRP) , con el fin de minimizar la distancia total entre los clientes y los centros de distribución.

1.1.3. Complejidad del problema

Ya habiendo examinado el problema de VRP, desde su concepción mas simple hasta sus variantes mas estudiadas, es momento de examinarlo desde la complejidad que este tipo de problemas puede traer al momento de generar una respuesta y como la aplicación desarrollada en este trabajo enfrenta este tipo de inconvenientes.

El problema de rutas VRP en todas sus variantes adquieren desde el punto de vista de complejidad computacional, ser uno de los más complejos dentro de los problemas de optimización combinatoria debido a que son del tipo NP – Hard. (Pino, Lozano, Martínez, & Villanueva, 2011, p. 2).

Así como lo afirma (Coelho et al., 2016) en el que su modelo HFMVRP es un problema N-P Hard en la que los métodos exactos tienen una aplicabilidad restringida para obtener buenas soluciones. Con lo que generalmente en los tipos de VRP se busca realizar a través de métodos heurísticos, los cuales tienen un mejor uso al solucionar grandes instancias de problemas.

Las restricciones juegan un papel fundamental en la solución del CVRP influyendo sobre los tiempos de solución y rutas posibles. Así como lo demuestra Oppen en su investigación sobre la realización de un modelo CVRP con restricciones de inventario concluye que, con menos restricciones, con pequeñas ordenes, capacidad del vehículo mucho más grande y distancias más cortas, hacen más difícil la solución del CVRP, debido a que el número de viajes y rutas factibles aumenta y por lo tanto el tiempo necesario para resolver los problemas de trayecto más cortos también aumenta. (Oppen, Løkketangen, & Desrosiers, 2010, p. 9) .

1.1.3.1.Georreferenciación de datos.

Un problema que se enfrenta hoy en día la logística es el relacionado con el tiempo de viaje en la red. Este es uno de las variables que no están en total control debido a que depende a diferentes factores externos.Es por esto que se decide investigar sobre como se ha venido trabajando en este tema debido a la propuesta que la aplicación genera para dar una respuesta mucho mas realista en términos de tiempos y distancias.

Así como lo demuestran en su trabajo (Setak, Habibi, Karimi, & Abedzadeh, 2015, p. 2), en el problema de enrutamiento del vehículo dependiente del tiempo (TDVRP). Este tipo de VRP, el tiempo de viaje en la red depende del tiempo. Además, el tiempo de viaje entre dos puntos dentro de la red logística cambia por diferentes factores tales como condiciones externas tales como: meteorológicas, accidentes y atascos de tráfico.

Por lo que se ha incurrido en la utilización de herramientas tecnológicas que ayuden a la minería de datos necesarias para alimentar la información lo más cercana posible a la práctica. (Hegde, 2016) muestra esta herramienta utilizada llamada API de mapas de Google la cual es programada y utilizada para averiguar la latitud y longitud de cada dirección residencial estudiantil y con ello establecer la distancia mínima, máxima y media. También ha sido utilizada para tener las rutas reales (Kirci, 2016)

Esta herramienta digital ha sido utilizada además para extraer los diferentes datos de distancia y tiempos de desplazamientos en tiempo real, para la utilización dentro de los diferentes modelos de ruteo

1.1.3.2.Métodos de Agrupacion.

Los métodos de agrupación dentro de la planeación de rutas resulta ser una manera bastante utilizada para relajar la generación de rutas en entornos bastante grandes y que a la vez permite reducir considerablemente la complejidad computacional. Asi mismo, para poder establecer el método de agrupación de este trabajo, es necesario conocer que métodos resultan ser los mas utilizados y efectivos al momento de aplicarlo en diferentes instancias.

Los algoritmos de agrupamiento se centran en encontrar que la distancia de la muestra en el mismo grupo sea lo más cercana posible y la distancia entre un grupo y otro sea lo más lejano posible.(Hartigan, 1975)

Al revisar dentro de la literatura existente se logró encontrar diversos métodos de agrupación tal como los anuncia en su revisión (Medina et al., 2011) en el que podemos encontrar métodos de 2 fases como los Métodos de asignación elemental , algoritmo de ramificación y acotamiento truncados, el algoritmo de los pétalos , método de rutear primero y asignar después y procedimientos de búsqueda local. Los métodos de asignación elemental se

encuentra el algoritmo de barrido, el algoritmo basado en asignación generalizada y heurística basada en la localización.(Toth & Vigo, 2002).

Existen diversos tipos de métodos de agrupamiento dentro de la literatura, Un caso es el aplicado por (Gonzalez-L., Adarme-Jaimes, & Orjuela-Castro, 2015, p. 4), en donde utilizaron la técnica de cauterización de Método Linkage simple aglomerativo, en donde utilizando distancia Euclidiana, generan la agrupación de los clientes la menor distancia entre ellos.

Por otro lado, Wang y Chen trabajaron un caso aplicado de K-means para un VRP con ventanas de tiempo suaves. En donde en primer lugar dividen realizan la agrupación y luego determinan la línea de ruta de acuerdo a las ventanas de tiempo. Utilizando el algoritmo de agrupamiento de K-means, de acuerdo con el factor de agrupación de las coordenadas de los clientes.(Ying & Xi, 2010). Este factor de agrupación K es conocido antes del análisis de agrupamiento de los clientes ya que a diferentes K- valor los resultados de las agrupación son diferentes (Wang & Wei, 2016) , luego se busca ubicar los clientes al centroide más cercano. Generalmente la distancia Euclidiana es la más utilizada para determinar la distancia(Nazeer, 2009). Según (Cheng, Wang, Tao, Luo, & Zhao, 2012), K-means es un algoritmo típico de agrupación de minería de datos y, es una de los algoritmos más simple de algoritmos de aglomeración.

(Fajar, Abu, & Herman, 2009, p. 18) Llegaron a concluir en su investigación sobre la estrategia de cauterización en un TSP, que el utilizar un algoritmo aproximado usando la técnica de agrupación es capaz producir una solución casi óptima. El número de nodos dentro de cada clúster debe ser limitado. Un tamaño de agrupación más pequeño tiende a proporcionar una mejor opción para llegar a un óptimo.

I. Haversine

La fórmula de Haversine es una ecuación importante dentro del cálculo de distancias en el método de agrupación del aplicativo desarrollado; ya que brinda distancias más exactas entre dos puntos geográficos a partir de sus longitudes y latitudes.(Chopde & Nichat, 2013, p. 2)

Haversine ha sido utilizado para calcular las distancias reales teniendo en cuenta el ángulo entre la recta en la cierta ubicación y el plano ecuatorial (Hegde, 2016, p. 3). Este tipo de cálculo de distancia ha sido utilizado desde diferentes áreas como la detección de la ruta más corta basada en puntos de referencia en el Google maps (Chopde & Nichat, 2013, p. 1) hasta la búsqueda hasta el recreacional en donde haversine es utilizada para buscar la distancia más cercana de sitios recreativos con respecto a un cliente.(Arifin, Ibrahim, & Hatta, 2016)

1.1.4. Metodos de solución

Para poder desarrollar una aplicación para la planeación de rutas, es necesario conocer las vías que existen en la literatura para dar una respuesta satisfactoria, por lo que se examina los diferentes tipos de solución que se han propuesto, con el fin de entender la utilización de métodos aproximados en lugar de métodos exactos.

Según (Medina et al., 2011, p. 8) en la revisión bibliográfica realizada por ellos encontraron que "se han abordado tres grandes categorías, las cuales pueden ser agrupadas de la siguiente manera: métodos exactos, heurísticas y metaheurísticas" . para la revisión literaria de este trabajo se centrará en dichos tipos de solución.

Muchos problemas de optimización como el caso del VRP son solucionados con el uso tanto de métodos heurísticos como metaheurísticos. Estos métodos alternativos permiten determinar una solución que no es perfectamente precisa, pero si con una buena calidad a las soluciones exactas.

1.1.4.1.Métodos exactos.

Los métodos exactos son métodos de solución que se encargan de encontrar una solución óptima de un problema y probar la óptima de la solución obtenida.

Métodos de solución exacta para la VRP incluyen Los métodos exactos son eficientes en problemas hasta 50 depósitos debido a restricciones de tiempo computacional. Según (Laporte, 1992, p. 346) los métodos exactos principalmente se pueden encontrar para la solución del problema de ruteo de vehículos VRP como búsqueda directa de árbol, programación dinámica, programación lineal y entera. Dentro de la búsqueda directa de árbol podemos encontrar branch and bound and branch and cut.(Toth & Vigo, 2002),

Casos de aplicación de los métodos se observan en la soluciones de VRP , como el realizado por Karaman y Frazzoli en donde proponen un VRP con especificaciones de lógica temporal métrica VRPMTL y para ello utilizaron la programación lineal mixta (MILP) para encontrar la solución a solución óptima del problema (Karaman & Frazzoli, 2008). Por otra parte, se han realizado investigación para solucionar problema problemas como el problema de ruteo de inventarios con múltiples vehículos utilizando MIP, en donde programas de esta área como LINGO son utilizadas.

La aplicación de branch and bound se ha visto en los aportes de Padberg y Rinaldi (Padberg & Rinaldi, 1989) en el cual plantearon un problema de TSP y solución apartir de la realización de una mejora del branch and bound clásico integrándole un método de corte de planos, dando origen a la técnica Branch and Cut.

Khan, Handl y Yang plantearon para su investigación planificación de vehículos en un contexto de entrega urbana con múltiples objetivos un algoritmo híbrido de mezcla del método

exacto de la programación dinámica con un algoritmo evolutivo se desarrolla por primera vez para generar conjuntos de soluciones eficientes.(Handl, 2015).

Según (Pino et al., 2011) el empleo de técnicas de programación dinámica y Branch and Bound, en la revisión se observaban un buen desempeño que dichas técnicas para problemas con restricciones de ventana TW y capacidad.

1.1.4.2.Métodos heurísticos o aproximados.

Los métodos heurísticos o también conocidos como aproximados heurísticos son "procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados" (Toth & Vigo, 2002, p. 219)

De acuerdo a Oppen y LZkketangen quienes realizaron un VRP con restricciones de producción y de inventario enfocado a la recolección de ganado "la complejidad del modelo como el tamaño de las instancias de problemas de la vida real probablemente harán que los métodos exactos no encuentren buenas soluciones, por lo que se necesitan enfoques heurísticos" (Oppen & Løkketangen, 2008, p. 16)

Muchas de estas heurísticas pueden ser extendidas para manejar restricciones adicionales a las del VRP (Olivera 2004, p. 14) .Toth & Vigo en el libro " Problemas de Ruteo de vehículos" , exponen otros tipos de heurísticas (Toth & Vigo, 2002), afirma que la mayoría de las heurísticas han sido realizadas sobre el problema de enrutamiento de vehículos con restricciones de Capacidad CVRP . debido a que el CVRP ha sido el principal VRP utilizado, y la gran parte de los problemas planteados por los investigadores derivan con m-vehículos capacitados.

El tiempo de ejecución es una parte importante para los investigadores a la hora de optar por la solución de problemas mediante Heurísticas .En la investigación Li Shucia en donde realiza un modelo matemático multiobjetivo con el fin de optimizar un sistema de entregas, utilizando un algoritmo de heurísticas de ahorros que permite una velocidad rápida y fácil de realizar a través de cálculo de computadores.(Shuxia, n.d.)

Francisco López Ruiz (Ruiz, 2010) , a través de la realización los métodos heurísticos, realiza un nuevo algoritmo para la obtención de soluciones iniciales, según el autor las principales ventajas de realizar algoritmos de Solución inicial básica Factible son que aporta sencillez, rapidez y eficacia en las asignaciones de los clientes o nodos frente a otros métodos.

Según la revisión preliminar pudo observarse que (Medina et al., 2011, p. 10) que los Algoritmos heurísticos pueden dividirse en 3 tipos : Métodos constructivos, Métodos de 2 Fases, métodos de mejora.

I. Métodos constructivos

Los métodos constructivos, para efectos de nuestra aplicación, resultan ser el primer paso para dar una respuesta factible, en la que a través de procesos iterativos, se asignan los clientes ya agrupados en el orden que permita a la flota atender a los clientes teniendo en cuenta el costo, tiempo y distancia del recorrido.

Este tipo de metodos consisten en construir paso a paso una solución del problema, este tipo de problemas conocidos son pertenecientes al campo de la investigación de operaciones. Los métodos constructivos más utilizados son: Heurísticos del Vecino más Próximo, Heurísticos de Inserción, Heurísticos basados en Árboles Generadores, Heurísticos basados en Ahorros. (Martí Cunquero, 2007, p. 14).

- *Método de ahorros*

Según la literatura realizada, este tipo de heurística es uno de los más utilizados dentro del VRP. Busca calcular el mayor ahorro en distancia al momento de conectar pares de clientes. (Medina et al., 2011) explica que dos rutas pueden ser combinadas para obtener una nueva en la cual se encuentre mayor ahorro en sus arcos.

En la literatura se ha observado modificaciones a este tipo de algoritmo heurístico como el visto en la investigación realizada por Zhao , Yan y Hao en donde aplicaron un método de ahorro mejorado al método de Clarke y Wright, al modificar la restricción del algoritmo de combinar clientes al inicio o al final de una ruta. que observaron mayor la efectividad del algoritmo.(Xing, Shu-zhi, Xing, & Hao, 2016).

- *Método de Vecino más cercano*

Vecino más cercano es una heurística generalmente usada en el TSP y VRP que trata de construir un ciclo Hamiltoniano de bajo coste basándose en el vértice cercano a uno dado (Martí Cunquero, 2007, p. 14). El algoritmo se ejecuta en un tiempo proporcional n^2 **,** lo que representa una mejora significativa frente a $n!$,ofrece una solución inicial el cual es el punto de partida a la hora de aplicar el algoritmo de búsqueda tabú o recocido simulado. (Atuesta & Carvajal, 2011)

- *Métodos de 2 fases*

Según las diferentes bibliografías consultadas se pueden encontrar procedimientos y movimientos como.

II. Procedimiento de búsqueda local.

(Medina et al., 2011) Medina, González y Castro explican en su artículo que este tipo de métodos tienen un rol de conseguir una mejor solución de las ya obtenida por otros métodos como los constructivos. Según (Martí Cunquero, 2007) los procedimientos de búsqueda local o de mejora utilizan una operación básica para moverse dentro de un espacio o vecindad de solución y la que nombran movimiento .El criterio de decisión para generar una mejor solución es mediante el Costo, (Medina et al., 2011),Mientras que Cunquero afirma que se puede utilizar como criterio conocido como Greedy, el cual se centra en la función Objetivo generando un bucle el cual está determinado hasta que no pueda encontrar una mejor solución dentro del espacio disponible a los algoritmos. (Martí Cunquero, 2007, p. 22)

Entre Los diferentes algoritmos de búsqueda local que se pueden encontrar en diferentes investigaciones podemos encontrar: operador λ-intercambio, algoritmo lin-kernigham, Operador Or-opt, Operador Van breedam, GENI Y GENIUS. En esta revisión de literatura se estudiará los métodos de búsqueda local más utilizados el operador de intercambio Y Or-opt.

- *Operador λ-intercambio*

En este tipo de método de búsqueda local, se busca principalmente dividir en lambda partes la solución actual y combinar dichas partes, así buscando generar mejores soluciones.

Múltiples autores como (Olivera, 2004) y (Medina et al., 2011), afirman que generalmente para el mejoramiento de la solución de rutas para el problema de ruteo VRP , se suele utilizar 2 lambda o 3 lambda de intercambio para mejorar las soluciones iniciales, sin tener que explorar todas los espacios generados.

(Coelho et al., 2016) utiliza el método del operador 1-opt para encontrar una mejor solución al problema VRP con flota heterogénea, utilizando además un movimiento llamado Or-optk el cual enuncian es un movimiento intra-ruta el cual remueve clientes de la solución inicial y los insertan en otras posiciones en la ruta.

Los procedimientos están abiertos a nuevas modificaciones necesarias para satisfacer las necesidades de la distribución y logística en la práctica. En el caso de (Gomez et al., 2013) plantea la realización de una modificación de la búsqueda local mejorando la solución comparado con el del algoritmo básico. Esto tiene como objetivo el de mejorar la solución del problema básico de CVRP, Este tipo de ILS (búsqueda local iterativa) es llamada búsqueda de

vecindad variable. El cual busca sistemáticamente en diferentes espacios de vecindad hasta llegar a una mejor solución

1.1.5. Metaheurística

Ya una vez generadas las soluciones iniciales factibles con base en los métodos de agrupación, utilizamos métodos de mejoramiento de la solución a través de metaheuristicas, por lo que se considera importante que tipo de métodos son los mas usados y que permiten generar un valor mas aproximado al optimo con la menor complejidad computacional posible.

Las soluciones obtenidas en heurística con esta clase de procedimientos pueden, en general, ser mejoradas utilizando métodos de búsqueda más sofisticados como las metaheurísticas, pero incurriendo en elevados tiempos de ejecución.

Este tipo de técnicas presentan mejores soluciones que los métodos de heurísticas pueden brindar, según (Olivera, 2004) Las metaheurísticas son "procedimientos genéricos de exploración del espacio de soluciones para problemas de optimización y búsqueda"

Basándose en la recolección de los diferentes técnicos de metaheurísticas utilizadas en investigaciones, en esta categoría de solución entran técnicas conocidas como los Algoritmos Genéticos, Simulated Annealing, Búsqueda Tabú, Colonia de Hormigas (ACO) y GRASP.

Raúl pino expone una definición de los algoritmos evolutivos los cuales consisten

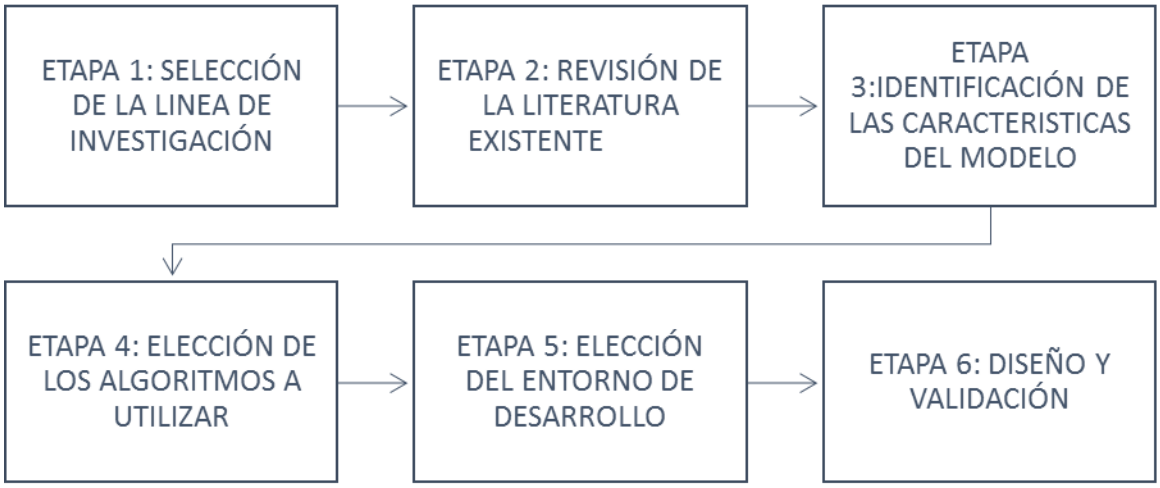
> "se compone de una población inicial de individuos, cada uno de ellos una solución del problema. Las nuevas poblaciones son creadas en cada iteración mediante operadores de cruce. Estos combinan los individuos seleccionados (padres) para crear nuevos individuos (descendencia). Así mismo, también existe un operador de mutación que efectúa pequeñas variaciones (mutaciones) sobre los individuos para diversificar el espacio de búsqueda"(Pino et al., 2011, p. 5)

(Jordi Pau et al., 1998, p. 4) presenta un trabajo en el que se realiza la revisión de los diferentes tipos de heurísticas y metaheurísticas conocidas. Comenta que la Búsqueda Tabú es un procedimiento metaheurístico utilizado para poder combinarlo con un algoritmo heurístico de búsqueda local. para el caso de la investigación de (Oppen & Løkketangen, 2008) en donde se realiza la solución de un problema de la recolección de ganado el cual es la extensión de un tipo de VRP mediante la utilización de lista Búsqueda Tabú el cual construye buenas soluciones que no violan las diferentes restricciones en el modelo.

2. Capitulo II. Desarrollo Metodológico

A continuación, se presenta el desarrollo metodológico definido en etapas, bajo el cual nos basamos para el desarrollo del objeto del trabajo, es decir, el diseño de la aplicación de planeación de rutas para la distribución de productos

Ilustración 1. Desarrollo metodológico por etapas.



Fuente: Esta investigación

2.1.Etapa 1: Selección de la línea de estudio

En esta etapa, para realizar la selección de la línea de estudio, se encontró en la logística de la distribución la posibilidad de realizar aportes significativos al clásico problema de ruteo de vehiculos (VRP), esto debido a que en diario vivir se encuentra una carencia del uso de conocimientos teóricos que permitan obtener mejores resultados en la planeación de rutas ya sea por factores ligados a:

I. Desconocimiento por parte de la industria en cuanto al uso de conocimientos teóricos referentes a la planeación de rutas.

II. Uso del conocimiento empírico para la resolución de asignación de rutas sin tener en cuenta los costos que incurre en esta labor.

III. Altos costos de adquisición de software para la pequeña y mediana empresa.

IV. Las características de los softwares existentes no abarcan en forma completa todas las características y necesidades que pueda presentar diversas empresas en general.

2.2.Etapa 2: Revisión de la literatura existente

Para esta etapa se consulta de diversas fuentes, tanto en libros como en artículos científicos donde se realizó el estado del arte sobre los principales temas que fundamenta la aplicación de ruteo, permitiendo más adelante identificar las variables que atenderá el diseño del modelo y también las limitaciones y supuestos bajos los cuales se basará el funcionamiento del mismo.

2.3.Etapa 3: Identificación de las características del modelo

Con base en lo extraído e investigado en la revisión de la literatura, se establecen los criterios principales bajo los que se basara la aplicación a diseñar. Entre las características más importantes a tener en cuenta en los modelos a desarrollar son:

I. Restricciones de cumplimiento de ventanas de tiempo del cliente.
II. Restricciones de cumplimiento de tiempo de gestión de la empresa.
III. Restricciones de flota capacitada y heterogénea.
IV. Condiciones de carga homogénea.
V. Uso de variables y distancias no simétricas.
VI. Uso de tiempos de espera y tiempos de servicio.

2.4.Etapa 4: Elección de los algoritmos a utilizar

Para este apartado, se elige en primera instancia el usar métodos que permitan tener una respuesta factible en un tiempo de computo razonable, razón por la cual se decide decantar por los modelos heurísticos de construcción y de mejoramiento iterativo como lo son las metaheurísticas de búsqueda local, acompañados de una Clusterizacion inicial por método de centroide.

2.5.Etapa 5: Elección del entorno de desarrollo

Ya teniendo claro los algoritmos y las condiciones que tendrá la aplicación, se opta por desarrollar la aplicación en un entorno de desarrollo de fácil acceso para casi todo el mundo, por lo que se hizo en Visual Basic de Excel con ayuda de las bases de datos para desarrolladores de Google con el fin de obtener los valores de distancias y tiempos reales y así tener una aplicación que se adapta de una mejor manera a las condiciones reales del entorno.

2.6.Etapa 6: Diseño y validación.

Con base en la revisión de la literatura, establecimiento de condiciones y restricciones y elección del entorno de desarrollo, se procede a traducir las metodologías de los algoritmos, la representación de las restricciones y demás en lenguaje de programación Visual Basic con el fin de materializar en una aplicación el objetivo de este trabajo. Posteriormente, se realizar la validación de la aplicación simulando condiciones reales de demanda, costos, capacidad, etc., con el fin de realizar analisis de los resultados, establecer posibles mejoras y determinar el desempeño de la aplicación en términos de costo de la planeación, utilización de la capacidad, tiempo de computo, etc.

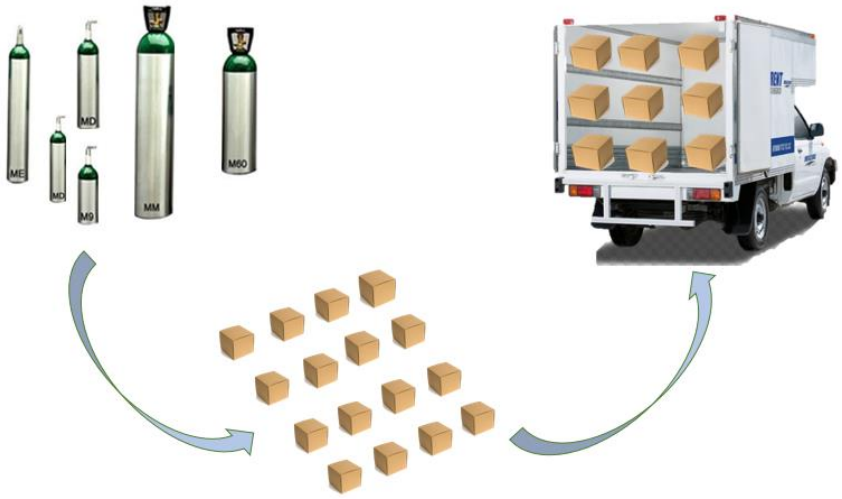
3. Capitulo III. Diseño de la aplicación

3.1.Supuestos del modelo.

De acuerdo con las características y condiciones bajo las cuales se desarrolló la aplicación, se plantean una serie de supuestos para garantizar la correcta ejecución de los algoritmos. Entre los supuestos bajos los cuales se basa este aplicativo son los siguientes:

I. La carga que se asigna a las flotas disponibles debe ser homogénea, y en caso de no serla, deberá ser embalada en contendedores que, si cumplan esta condición, con el fin de expresar la capacidad total del camión en número de unidades máximas de unidades de productos o contenedores que puede transportar. De la misma manera, la demanda de los clientes, en caso de que los productos no sean homogéneos en sus envases, deberá expresarse en número de contenedores determinado para asignar al vehiculo.

Ilustración 2. Supuesto de carga homogénea.



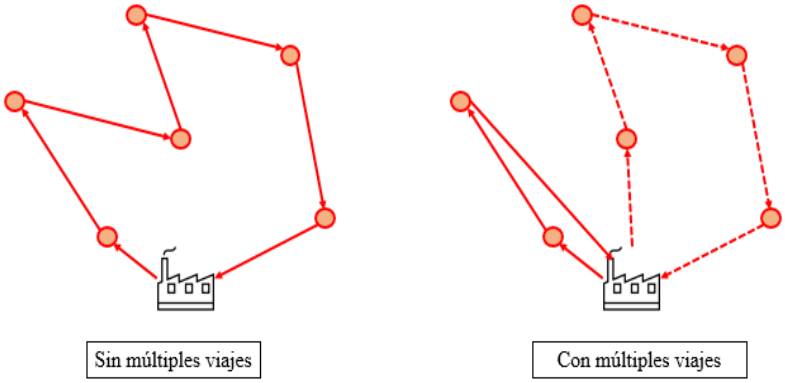
Fuente. Esta investigación.

II. Respecto al tiempo total de ruta, es decir, el tiempo total que un vehiculo gasta desde el momento que parte del depósito hasta que este vuelve al mismo, será como máximo de 24 horas.

III. La demanda de un cliente será atendida en su totalidad por un solo camión, es decir, ningún vehiculo podrá atender de manera parcial a un cliente.

IV. Este modelo no cuenta con características de múltiples viajes, es decir, los camiones se abastecen totalmente para atender a todos los clientes de la ruta planeada y concluir su recorrido volviendo de nuevo al depósito de donde salió.

Ilustración 3. Supuesto de viajes múltiples.

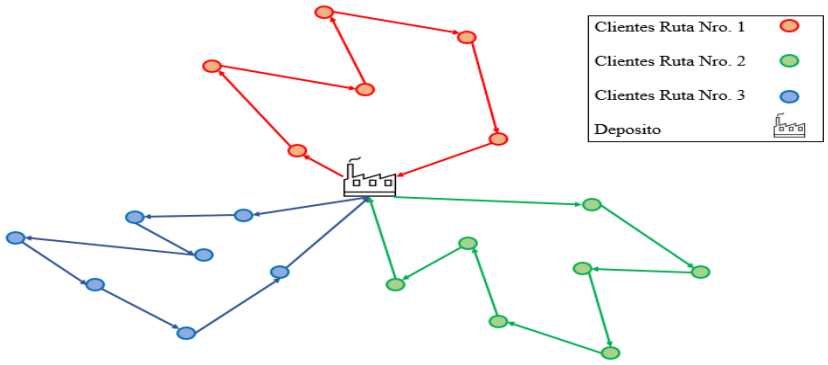


Fuente. Esta investigación.

V. Con respecto a las ventanas de tiempo, solo se tendrá en cuenta una única franja horaria en la que el cliente puede recibir el producto esperado.

VI. Este modelo solo contemplará la existencia de un único depósito, es decir, toda la flota de vehiculos se abastece en un mismo lugar y de la misma forma, retornan a la misma.

Ilustración 4. Supuesto de único deposito.



Fuente. Esta investigación.

VII. Todo cliente que no cuente con una ventana de tiempo, asumirá por defecto la ventana de tiempo de la empresa la cual corresponde al tiempo de gestión que esta cuente para realizar la ruta asignada.

VIII. Todas las flotas parten del depósito a la misma hora.

3.2.Modelo fundamental

Antes de entrar en la explicación del aplicativo diseñado para uso general con base en algoritmos heurísticos y metaheurísticos, es necesario conocer la base que fundamenta toda la aplicación, la cual está en el clásico modelo de optimización de VRP, que, para este caso, cuenta con condiciones de flota capacitada e inclusión de ventanas de tiempo. El modelo de optimización que puede representar de la mejor manera las características del modelo funcional descrito más adelante, es el siguiente:

3.2.1. Parámetros.

s: Tipo de camión donde $s = \{1,2,3 \dots \dots \dots, K\}$
i: Nodo de partida del camión s, donde $i = \{1,2,3 \dots \dots \dots, M\}$
j: Nodo de llegada del camión s, donde $j = \{1,2,3 \dots \dots \dots, N\}$
$t_{i:}$ Hora en la que llega el camión al nodo i.
$D_{is:}$ Hora en la que llega el camión al nodo i.
$L_{i:}$ Límite inferior de la ventana de tiempo del nodo i.
$U_{i:}$ Límite superior de la ventana de tiempo del nodo i.
C_s: Capacidad disponible del vehiculo s.

3.2.2. Variables de decisión.

Q_{ij}^{s}: Costo que conlleva que un camión s recorra una distancia entre el cliente i hasta el cliente j

X_{ij}^{s}; Variable binaria que determina si un camión s recorrerá el arco formado entre los nodos i y j.

3.2.3. Función objetivo.

$$\sum_{s=1}^{K}\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M} Q_{sij} * X_{sij} \quad [1]$$

En la ecuación [1], se delimita la función objetivo, que equivale a el costo total de visitar a todos los clientes de la ruta asignada a camión, en la cual, gracias a la variable binaria X_{sij}, se sabrá que arcos atravesó el camión a lo largo de la ruta asignada.

3.2.4. Restricciones del modelo.

$$\sum_{s=1}^{K}\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{s} = 1, \quad \forall\ s \in K, j\ \in N, \quad [2]$$

$$\sum_{s=1}^{K}\sum_{i=1}^{M} X_{ij}^{s} = 1, \quad \forall\ s \in K, i\ \in M, \quad [3]$$

$$\sum_{s=1}^{K}\sum_{j=1}^{N} X_{0j}^{s} = 1, \quad \forall\ s \in K, j\ \in N, \quad [4]$$

$$\sum_{s=1}^{K}\sum_{i=1}^{M} X_{i0}^{s} = 1, \quad \forall\ s \in K, i\ \in M, \quad [5]$$

$$\sum_{i=1}^{M} D_{is}\ \leq\ C_{s}, \quad \forall\ i\ \in M, \quad [6]$$

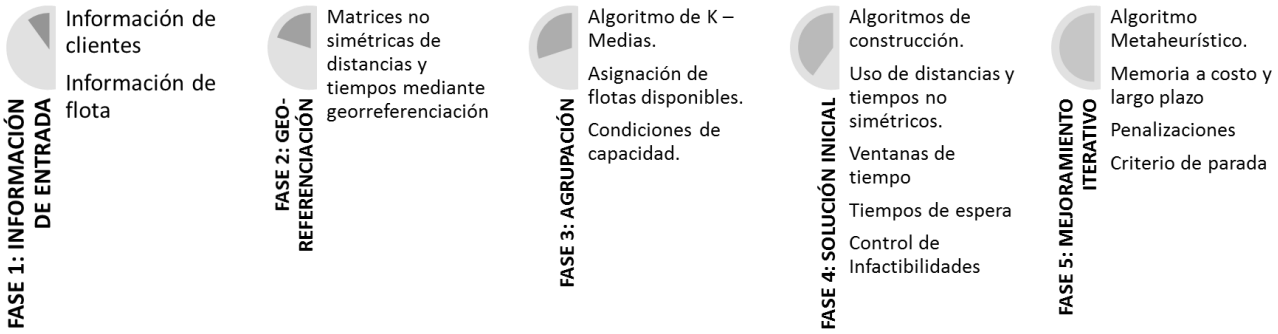
$$L_i + \leq t_i \leq U_i \quad [7]$$

En las ecuaciones [2] y [3], se garantiza que todos los clientes i y j son visitados una vez por alguno de los camiones disponibles. Las restricciones [4] y [5] garantizan que todos los camiones salen y entran una única vez al depósito, cumpliendo así el supuesto de solo contar con un depósito y evitar los viajes múltiples. La restricción [6] muestra que todas las demandas conformadas dentro del camión s siempre serán menores o iguales a la capacidad disponible del camión s. Por último, la restricción [7] cumple de que el tiempo en el que el camión arriba al punto i estará comprendido entre los limites superior e inferior de la ventana de tiempo y en caso de que algún cliente no cuente con franja horaria, se le asignara por defecto la ventana de tiempo de la empresa equivalente al tiempo de gestión de la distribución.

3.3.Modelo funcional

El aplicativo que se desarrolló está conformado por diferentes que permiten tomar la información de la flota y los clientes a suplir y transformarlo en una planeación de rutas con una función de costo muy aproximada a los costos reales de distribución y con un control en tiempo real de acuerdo a las necesidades del usuario.

Ilustración 5. Fases de diseño del modelo funcional.



Fuente. Esta investigación.

3.3.1. Información de entrada.

En esta sección, se ingresará toda la información que alimente a los algoritmos posteriores en la generación de rutas. La información que se ingresa está divida en Clientes y en Flotas.

3.3.1.1.Clientes

En este aplicativo, la información correspondiente a clientes se puede establecer en varios factores: Ubicación, disponibilidad, demanda y datos generales. Toda esta información permite tanto a la aplicación como al usuario el tener en cuenta las variables más importantes de los clientes en la generación de rutas además de llevar un control ordenado de la información. A continuación, se presenta cada uno de estos factores, la forma como entra esta información en la aplicación y la manera de cómo se visualiza en la aplicación.

I. Datos generales

En este apartado el usuario puede ingresar la información general del cliente la cual está contemplada en: nombre del cliente, dirección, teléfono y un código de identificación asignado por parte de la empresa. Esta información sirve para que el usuario pueda identificar de una manera más sencilla los clientes que son asignados a una ruta.

II. Ubicación

La ubicación de los clientes es uno de los factores más importantes a ingresar en el modelo, ya que esta información alimentará más adelante las matrices de distancias y tiempos. Para este tipo de información se deberá suministrar la dirección del local o lugar donde se encuentre el cliente, además de las coordenadas geográficas o coordenadas decimales del lugar para una posterior georreferenciación tanto de distancias como tiempos.

Estas coordenadas geográficas están compuestas por dos términos cartesianos X e Y cuyo primer término equivale a la Latitud, cuyo valor será mayor o menor a cero si se el punto se encuentra en el hemisferio Norte o hemisferio Sur respectivamente. El segundo término corresponde a la longitud, en el cual su valor será positivo o negativo si el punto está ubicado al este del meridiano de Greenwich o al oeste del meridiano de Greenwich.

III. Disponibilidad de atención

En esta sección, se ingresarán todas las características de los clientes con respecto a las franjas horarias en las que este puede atender el vehículo que transporta su pedido. El diseño de la aplicación solo permite ingresar una sola ventana de tiempo para cada cliente, sin embargo, de ser necesario, se podrá modificar estas franjas horarias con el fin de relajar los modelos de solución inicial.

IV. Demanda

En este apartado, se ingresa la cantidad que hayan solicitado sus clientes, con la observación de que estás deben ser expresadas en el número de contenedores que lleven contenidos los productos con el fin de que las demandas se puedan entender con las mismas unidades con las que se definió la capacidad de todos los vehículos.

3.3.1.2.Flota.

En el modelo se debe ingresar la información que resulte más relevante para los intereses del usuario como para el buen desempeño de la aplicación, por lo que, de acuerdo a las características de los algoritmos y la visualización de la información, el tipo de datos a ingresar este dado por: datos generales de los vehiculos, numero de flotas disponibles, capacidad de carga e información relacionada a los costos de funcionamiento y alistamiento de los vehiculos.

I. Datos generales

Los datos generales del camión que contempla la aplicación son la placa del vehiculo, la marca y referencia técnica del vehiculo y código asignado por el usuario para una mayor facilidad de identificación.

II. Capacidad

Se debe expresar la capacidad de los vehiculos en los mismos términos que la demanda de los clientes a surtir, teniendo en cuenta los supuestos ya mencionados anteriormente.

Así mismo, para una posterior asignación en el algoritmo de agrupamiento, las flotas que se ingresan en el aplicativo, pueden tener un criterio ascendente, descendente con respecto a la capacidad de cada vehiculo o incluso, un orden personalizado basado en las necesidades del usuario.

III. Costos

Aquí se asociarán los costos que harán parte de la función de costo que más adelante será explicada a detalle. Los valores que se ingresan están relacionados con el tipo de combustible, consumo promedio de combustible, costos asociados a reparación o cambio de neumáticos, aceites y mantenimientos que se tengan previstos y el costo de mano de obra.

3.3.2. Algoritmo de georeferenciacion

Antes de poder empezar con alguna etapa de la planeación de rutas, es importante poder traducir la información suministrada por el usuario para alimentar de forma correcta los algoritmos de solución inicial y de optimización. Por tal motivo se realizar un algoritmo de georreferenciación, el cual busca generar matrices no simétricas de distancias y de tiempos, gracias a las coordenadas de los clientes ya ingresados en la aplicación.

Para lograr esta georreferenciación es necesario entender que se utilizó como recurso la interface de programación de aplicaciones (API) de Google, las cuales permiten de manera libre acceder a una gran cantidad de información, que, para los fines de este aplicativo, se utilizó la API de distancias de Google Maps, la cual permite extraer los datos de distancias y reales entre dos puntos y los tiempos de recorrido de acuerdo a algún criterio establecido.

3.3.2.1. Criterios de selección de la información

La información de la API de Google Maps permite seleccionar la información de distancias en tiempos con criterios tales como: Modo de viaje, sistemas de unidades de distancia y duración.

I. Criterios obligatorios

La única información que se debe ingresar de manera obligatoria son las coordenadas decimales de la ubicación de cada cliente. Los criterios de “origin” y de “destination” están delimitados para colocar las coordenadas del punto de partida y punto de arribo respectivamente. Hay que aclarar que para el atributo “destinations”, es posible asignarle más de una ubicación cuando se desea hacer consultas de más de dos puntos a la vez, solo separando cada set de coordenadas con un punto.

Ilustración 6. Atributos obligatorios de ubicación.

```
origins=41.43206,-81.38992
destinations=41.43243,-82.34391. 42.43241,-81.34354
```

Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps..

II. Modo de viaje.

Hace referencia al tipo de vehiculo que se desea consultar, en las que está por defecto "driving", "walking" y "bicycling" haciendo referencia al medio de transporte que se desee usar. Para efectos de este aplicativo, esta opción se deja por defecto con la opción "driving" la cual es para cualquier vehiculo motorizado.

Ilustración 7. Modos de viaje

```
mode=driving
mode=walking
mode=bicycling
```

Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps.

III. Sistema de unidades.

Hace referencia al sistema de unidades que se desea obtener en cuanto a la medición de las distancias, siendo las opciones "metric" para distancias en kilómetros y metros e "imperial" para distancias expresadas en millas y pies. Para este caso, se dejaron las unidades en kilómetros y metros.

Ilustración 8. Sistema de unidades

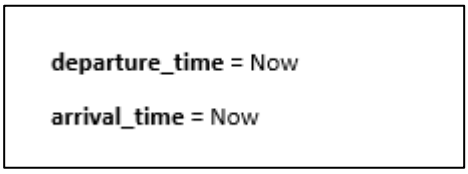
```
units=metric
units=imperial
```

Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps.

IV. Duración.

En esta opción, se pueden escoger muchas alternativas al momento de decidir qué valor de duración entre dos puntos deseamos tener. Existen modelos de tráfico que pueden ser tomados desde el momento en que se realiza la búsqueda de valores o con base en una hora especifica; con valores en tiempo real o con valores promedios de acuerdo a una zona horaria. Para esta aplicación, los valores que arroja son con base a los valores reales a las 8:00 am siendo esta una zona horaria de alta congestión vehicular.

Ilustración 9. Tiempos de arribo y llegada.



Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps.

3.3.2.2. Generación de la URL.

Ya entendiendo todos los criterios con los cuales se puede consultar las distancias y tiempos, se procede a generar la URL que permitirá entrar a las bases de datos de Google Maps y extraer la información que se desee consultar.

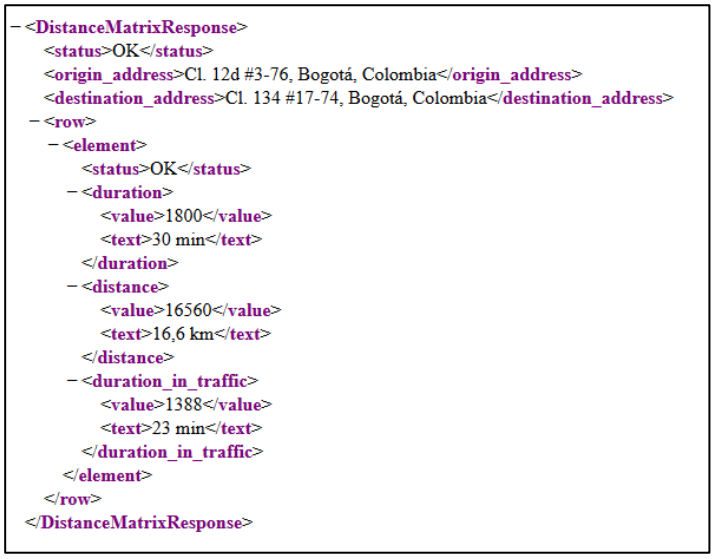
Ilustración 10.Direccion URL de consulta.

```
https://maps.googleapis.com/maps/api/distancematrix/xml?origins=4.60062,
-74.07096&destinations=4.717576,74.046554&mode=driving&departure_time=now
```

Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps.

Adicionalmente, al momento de ejecutar esta URL, la API de Google Maps redirecciona a una página que permite mostrar los datos solicitados para posterior extracción a través de VBA de Excel.

Ilustración 11. Resultados de la consulta en la API de Google Maps.



Fuente. Guia de desarolladores de la API de Google Maps.

3.3.2.3.Procedimiento del algoritmo

I. Ingresar coordenadas de los clientes.

Se toman las coordenadas ingresadas anteriormente y se forman tanto la fila como la columna general de las matrices de tiempos y distancias, donde se ingresarán los datos respectivos de la API de Google Maps.

II. Revisión de datos existentes.

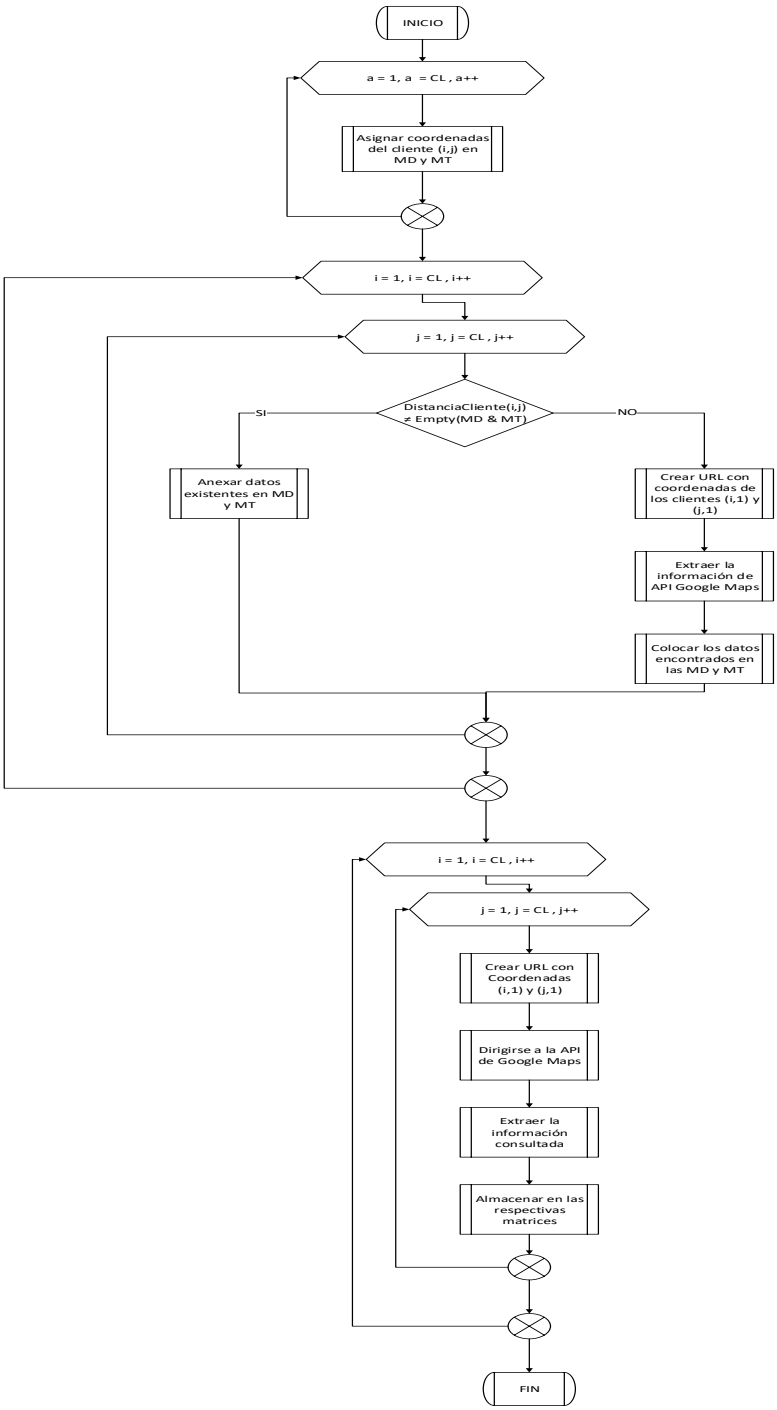
Con el fin de evitar georreferenciar a un par de clientes más de una vez, antes de extraer la información de Google, se procede a examinar en las bases de datos existentes si ya se cuenta con la información a buscar, y en tal caso de que así sea, se alimenta parcialmente las matrices de distancias y tiempos con la información que ya se cuenta.

III. Extracción de datos.

Ya conociendo los datos que no son necesarios georreferenciar, se procede a tomar un par de coordenadas y crear la dirección URL con los criterios y atributos explicados anteriormente, para que gracias a VBA de Excel se pueda abrir esta dirección y extraer en formato XML los datos de distancias y tiempos. Por último, se toman estos valores y se colocan en la base de datos.

3.3.2.4.Diagrama de flujo

Ilustración 12 Diagrama de flujo del algoritmo de georreferenciación.



Fuente. Esta investigación.

3.3.3. Funcion de costo.

La función de costo para esta aplicación busca dar el costo de distribución de productos de la manera más aproximada a las condiciones reales del usuario y el entorno que lo rodea. La función de costo está compuesta por varios factores como lo son:

3.3.3.1.Distancia

Este factor es el encargado de dar un costo a cada vehículo de acuerdo a la distancia que tengan que recorren para poder surtir a cada uno de los clientes y volver al depósito al final de la ruta. Para este factor, estará dividido en 3 partes, que constituyen los costos más importantes en un vehículo en cuanto a recorrido realizado:

I. Consumo de combustible.

Los costos de combustible, expresados en la ecuación [8] van a estar asociados como un costo variable de acuerdo al consumo de este a lo largo de la ruta de cada camión. Para el cálculo de este costo se tendrá en cuenta el tipo de camión, su consumo promedio por kilómetro y al tipo de combustible que utilice.

$$QC_{ij}^{k} = \frac{\left(D_{ij}^{k} * Q_{j}\right)}{\bar{C}_{k}} \qquad [8]$$

Donde

- $QC_{ij}^{k} =$ Costo de Combustible del vehículo s mientras transita el arco conformado por los nodos i y j. Expresado en unidades monetarias ($).
- $\bar{C}_{k} =$ El consumo promedio de combustible del camión i expresado en Kilometros por galón (Km/galón)
- $D_{ij}^{k} =$ Distancia recorrida entre los nodos i y j por el vehiculo k. Se encuentra expresado en Kilometros (Km).
- $Q_{j} =$ Costo por galon del combustible j expresado en unidades monetarias por galón de combustible ($/galón).

II. Cambio de aceite

Los costos de aceite, expresado en la ecuación [9] van a estar asociados como costos fijos de acuerdo a los cambios de aceite que los vehículos necesiten en cierto momento.

$$QA_k * B_k \qquad [9]$$

Donde

- $QA_k =$ Costo de Aceite del vehículo k expresado en unidades monetarias ($).
- $B_k =$ Valor binario de decisión de cambio de aceite del camión k. SI el valor es 0 se asume que no se hará ningún cambio de aceite al vehículo k.

III. Reparación y/o cambio de neumáticos

Los costos de neumáticos expresados en la ecuación [10] van a estar asociados como un costo fijo al momento en el que la empresa deba pagar el cambio o arreglo de los neumáticos del camión k.

$$(X_k * QN_k) + (Y_k * QM_k) \qquad [10]$$

Donde:

- $QN_k =$ Costo por el cambio de un neumático del camión k expresado en unidades monetarias ($).
- $QM_k =$ Costo por el arreglo de un neumático del camión k expresado en unidades monetarias ($).
- $X_k =$ Número de neumáticos a cambiar en el camión k. Si X = 0 se asume que no se hace ningún cambio.
- $Y_k =$ Número de neumáticos a arreglar en el camión k. Si X = 0 se asume que no se hace ningún arreglo.

De igual forma, como se ve en la ecuación [11], se debe tener en cuenta la condición de que el número de llantas a arreglar y/o reparar no puede ser mayor al número total de llantas del vehículo i (L_k).

$$X_k + Y_k \leq L_k \qquad [11]$$

3.3.3.2.Tiempo

Este factor es el encargado de dar un costo a cada vehículo de acuerdo al tiempo de recorrido de cada uno de ellos. Este costo está compuesto por el tiempo que el conductor requerirá para realizar la ruta que se le designe.

I. Pago de los conductores.

El pago de los conductores será asignado como un costo variable del valor de la mano de obra por el tiempo total del recorrido.Este pago se muestra en la ecuación [12].

$$QMO_k = T_k * M \qquad [12]$$

Donde:

- $QMO_k =$ Costo de mano de obra del conductor del camión k expresado en unidades monetarias ($).
- $T_k =$ Tiempo de trabajo del camión k expresado en unidades de tiempo (min).
- $M =$ Costo promedio por hora de la mano de obra expresado en unidades monetarias por unidades de tiempo ($/min).

3.3.3.3.Mantenimiento.

Este factor es el encargado de asignar un costo fijo para todos los factores de mantenimiento y reparación que deba tener algún vehículo antes de empezar una ruta designada.

Este costo, expresado en la ecuación [13], se asumirá como costo fijo y se tendrán en cuenta en las ocasiones que de forma repentina o con respecto a mantenimientos preventivos se tenga que realizar una reparación al vehículo. Este costo incluirá tanto la mano de obra, como los insumos necesarios para lograr el fin necesitado.

$$QR_k \qquad [13]$$

Donde:

- $QR_k =$ Costo de reparación del vehículo k expresado en unidades monetarias ($).

3.3.3.4.Función general

Una vez se han establecido todas las partes, las cuales expresaron en las ecuaciones 8, 9, 10, 11 y 12, componen a la función de costo para esta aplicación, que será igual al costo general (CG) de la planeación de rutas realizada. el cual se muestra en la ecuación [14] de manera general y en la ecuación [15] mas detallada de acuerdo a sus componentes.

$$CG = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=!}^{n} QC_{ij}^{k} + \sum_{k=1}^{n} QN_k + \sum_{k=1}^{n} QMO_k + \sum_{k=1}^{n} QR_k \qquad [14]$$

$$CG = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} \frac{\left(D_{ij}^{k} * Q_j\right)}{\bar{C}_k} + \sum_{k=1}^{n} QN_k + M * \sum_{k=1}^{n} T_k + \sum_{k=1}^{n} QR_k \qquad [15]$$

3.3.4. Agrupamiento de datos

En el momento en el que el usuario ingresa todos los datos de entrada descritos anteriormente, la fase de agrupamiento se convierte en la primera etapa de la generación de solución en la planeación de rutas. En este apartado se toma la totalidad de los clientes que harán parte de la planeación y se asignarán a una serie de grupos o clusters igual al número mínimo de flotas. A continuación, se explica de forma detallada cada una de las partes que componente esta fase de la aplicación.

3.3.4.1.Consideraciones generales

El método que se utilizó para realizar el agrupamiento de clientes es a través del Algoritmo de K – Medias, en el cual, de manera general a través de distancias euclidianas se calcula la distancia a un numero de clusters conocidos y que, a lo largo de las iteraciones, la posición de los clusters, va variando en la medida en que los clientes que la componen van formando la media de sus coordenadas con las distancias de cada elemento del grupo.

3.3.4.2.Información de entrada

En esta sección del aplicativo, la información que necesita para que pueda arrojar los resultados esperados está ligada a las características de los clientes en términos de ubicación y demanda; y características ligadas a la capacidad de las flotas disponibles al momento de la planeación de rutas.

En cuanto a la información relacionada a los clientes, se suministra la ubicación del mismo, en términos de coordenadas geográficas expresadas en latitud y longitud, las cuales serán la información de entrada para la función de distancia que más adelante se explicara. Por otro lado, es necesaria la información correspondiente a las demandas de cada uno de los clientes, las cuales serán fundamentales para asignar a los clústeres capacitados al momento de agruparlos. Para completar la información de entrada, es necesario también contar con la capacidad de los vehículos a disposición, que se convertirán en los clústeres capacitados, teniendo en cuenta que cumpla con los supuestos antes mencionados.

3.3.4.3.Condiciones de capacidad

Para el agrupamiento de datos, se decidió darle una relajación en cuanto a las restricciones de capacidad con el fin de que al momento de llegar a la fase de construcción de la solución inicial, esta llegue con la factibilidad de que independiente de la asignación de los clientes en la ruta, todo clúster que se envíe a la solución inicial es equivalente a que el camión del clúster i puede atender a un número de clientes j que está contenido en este, y por ende, la solución inicial solo tendrá entre sus restricciones las respectivas a cumplimiento de las ventanas de tiempo.

Ahora bien, la asignación de estas capacidades estará dada por el usuario, en la medida que organice bajo algún criterio, ya sea de mayor a menor o viceversa, las cuales están por defecto, o de manera personalizada asignar un orden especial.

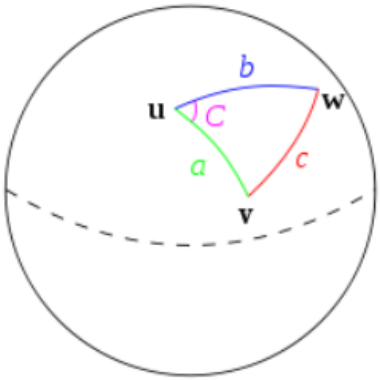
De manera inicial, el segmento de agrupamiento, empezará a asignar uno a uno, el número de camiones hasta tal punto en que el total de la capacidad de camiones n sea mayor o igual a las demandas de los clientes m y también, el garantizar que la capacidad máxima de los camiones asignados es capaz de cargar la demanda máxima de los clientes.

3.3.4.4.Función de distancia

Teniendo en cuenta que, de manera tradicional, el Algoritmo de K – medias maneja el uso de distancias euclidianas para el cálculo de las coordenadas promedio de cada uno de los clusters. Pero para este caso, se decide cambiar el cálculo euclidiano por utilizar una función de Haversine.

Esta fórmula para cálculo de distancias resulta ser una función trigonométrica esférica que nos permite calcular distancias rectas en superficies esféricas. El valor de esta fórmula esta dado entre un valor de 0 a 1, en el cual, al multiplicarse por el radio de la esfera, en este caso, el de la Tierra, se obtiene la distancia recta entre dos puntos establecidos previamente.

Ilustración 13. Representacion gráfica de Haversine.



La distancia entre 2 puntos establecidos de acuerdo a la función de Haversine se expresa en la ecuación [16]

$$Hav\left(\frac{D}{r}\right) = Hav(Long2 - Long1) * Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Hav(Lat2 - Lat1) \quad [16]$$

Donde:

- $Hav\left(\frac{D}{r}\right) =$ Distancia Haversine entre dos puntos establecidos con coordenadas de latitud y longitud.
- $Long1 =$ Longitud del punto Nro. 1 establecido.
- $Long2 =$ Longitud del punto Nro. 2 establecido.
- $Lat1 =$ Latitud del punto Nro. 1 establecido.

- $Lat2 =$ Latitud del punto Nro. 2 establecido.
- D = Distancia en Kilometros entre dos puntos establecidos.
- r = Radio de la Tierra expresado en Kilometros.

Teniendo en cuenta la función de Haversine se expresa de manera general como esta en la ecuación [17]:

$$Hav(\theta) = Sen^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \qquad [17]$$

Reemplazando la ecuación [17] en la ecuación [16] se obtiene la ecuación [18].

$$Sen^2\left(\frac{D}{r}\right) = Sen^2\left(\frac{Long2 - Long1}{2}\right) * Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Sen^2\left(\frac{Lat2 - Lat1}{2}\right) \qquad [18]$$

Y despejando D de la ecuación [18] se obtiene la ecuación [19].

$$D = Arcsen\sqrt{\left(Sen^2\left(\frac{Long2 - Long1}{2}\right) * Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Sen^2\left(\frac{Lat2 - Lat1}{2}\right)\right)} * r \qquad [19]$$

Con el fin de poder utilizar esta fórmula en Excel con coordenadas X e Y como lo son la latitud y la longitud, para poder arrojar el valor esperado, se hace la siguiente transformación trigonométrica expresada en la ecuación [20].

$$D = 2 * Arctan\left(\frac{\sqrt{Arcsen\sqrt{\left(Sen^2\left(\frac{Long2 - Long1}{2}\right) * Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Sen^2\left(\frac{Lat2 - Lat1}{2}\right)\right)}}}{\sqrt{Arcsen\sqrt{\left(Sen^2\left(\frac{Long2 - Long1}{2}\right) * Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Sen^2\left(\frac{Lat2 - Lat1}{2}\right)\right)} - 1}}\right) * r \qquad [20]$$

El fin de utilizar esta fórmula es para obtener una mayor precisión en la agrupación de clientes cercanos, ya que teniendo en cuenta que, se tiene como información de entrada las coordenadas de latitud y longitud de los clientes, la distancia que se calcula tiende a ser similiar a la que se expresa en diversas aplicaciones de geolocalización.

3.3.4.5.Procedimiento del algoritmo

Una vez ingresados todos los datos de entrada ya explicados, comienza el funcionamiento del algoritmo de K medias de la siguiente forma:

I. Asignación de cluster.

De forma inicial se asigna un camión, en la que se evalúa que la capacidad total sea mayor a la demanda total y que la capacidad máxima de las flotas asignadas sea mayor o igual a la demanda máxima, en caso contrario, se asignara un camión adicional.

II. Cálculo de distacias.

Una vez validada las condiciones de factibilidad de capacidad, se procede a realizar el cálculo de distancias con la función de Haversine, en la que, para los clústeres, de manera inicial, tendrán una coordenada de latitud y longitud igual la cual se ira modificando a lo largo de las iteraciones del algoritmo. Para este paso se genera una matriz que alimentará la matriz de decisión de asignación de clusters. Todas las distancias de esta matriz están expresadas en Kilometros.

III. Asignación de clientes.

Al tener la matriz de distancias, se procede a examinar en todas las distancias y se elige el valor mínimo. Una vez elegido ese valor, se asigna al clúster correspondiente el cliente de distancia mínima y se cancela en la matriz toda la fila de este mismo con el valor de 99999 para así evitar que más adelanta vuelva a ser escogido este valor.

De la misma forma se realiza el proceso anterior hasta que se hayan asignado todos los clientes en los clusters asignados inicialmente. En caso de que, por configuraciones de las demandas, no sea posible el asignar la totalidad de los clientes, se pasa a continuar con el procedimiento de control de infactibilidad de este algoritmo.

IV. Control de infactibilidad.

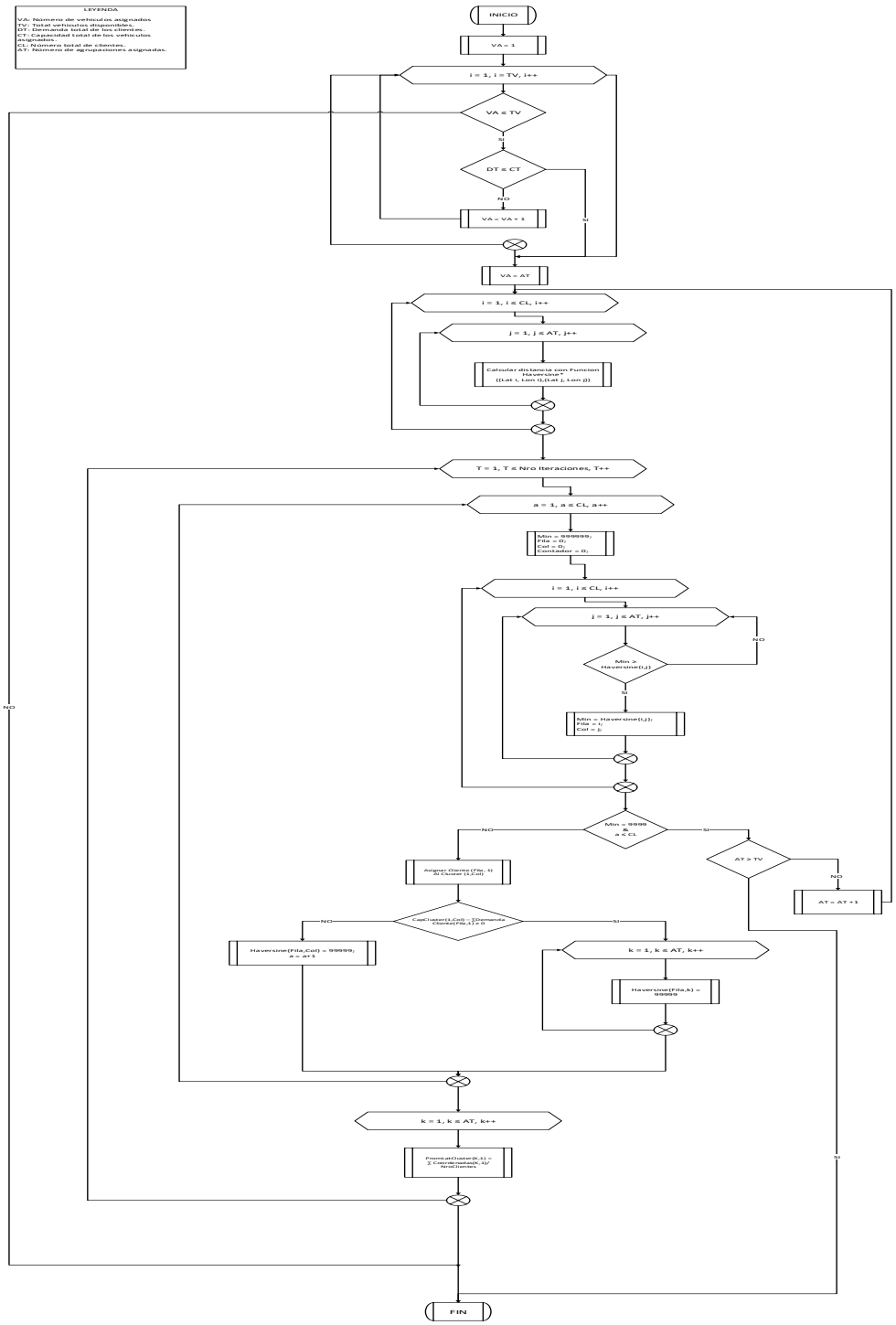
En el caso de que el número total de clientes no pueda ser asignado a alguno de los clústeres, se solicitará al usuario el aumento en uno, el número de clústeres para volver a realizar toda la organización de los mismos. En caso tal, de que al tratar de asignar un clúster y este exceda el número total de flotas disponibles, se le solicitara al usuario el analizar de nuevo las demandas de los clientes o examinar la flota disponible ya que no fue posible encontrar una forma de agrupar a los clientes con la flota total disponible.

V. Cálculo de medias.

Una vez asignados todos los clientes a los respectivos clústeres, se toman las latitudes y longitudes de cada uno los clientes que estén contenidos en cada uno de las agrupaciones y se calcula el promedio de todas las coordenadas, con el fin de tener las nuevas ubicaciones de los clústeres para continuar con la siguiente iteración.

3.3.4.6.Diagrama de flujo

Ilustración 14. Diagrama de flujo de agrupacion de datos.



Fuente. La investigación.

3.3.5. Algoritmo de solucion inicial.

Una vez generadas las matrices no simétricas de distancias y tiempos y las agrupaciones con el algoritmo de K -Medias, se procede a realizar la asignación de cada uno de los clientes a visitar por medio de algoritmos de heurísticos de construcción tales como el algoritmo de vecino más cercano y el algoritmo de Clarke & Wrigth.

3.3.5.1.Algoritmos de construcción

En esta sección, se explica los dos algoritmos heurísticos de construcción que se utilizaron en el diseño de la aplicación para que, después de obtener los grupos de clientes a atender, estos modelos puedan dar una respuesta con gran calidad con respecto al valor optimo que pudiesen tener en términos de costo.

I. Vecino mas cercano

Este algoritmo heurístico basa su criterio de asignación en una matriz de costos de acuerdo a la distancia mínima de la siguiente forma:

- *Generación de matriz de costo.*

En este apartado se genera la matriz de costos de todos los clientes y el depósito, en la cual, para este caso, será la matriz de distancia generadas gracias a la API de Google Maps, por lo que se parte que esta matriz no es cuadrada, es decir, que la distancia de ida de un punto A un punto B no es la misma del punto B al punto A. En los espacios donde el valor en la fila y la columna sean el mismo, se asignará un valor lo suficientemente alto para no ser tenido en cuenta en la asignación de clientes.

Tabla 1. Matriz de distancias.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	999	75	26	55	78
CLIENTE 1	72	999	69	69	59
CLIENTE 2	47	56	999	73	67
CLIENTE 3	49	76	95	999	95
CLIENTE 4	92	28	47	64	999

Fuente. La investigación.

- *Elección de la distancia minima.*

Una vez se haya generado la matriz de costos, el siguiente paso es situarse en la fila donde se halle el deposito (DEPOT) y buscar a lo largo de esta fila el valor de menor distancia, que significara cual clientes es el más cercano a la empresa o depósito de partida.

Tabla 2. Elección de distancia minima

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	999	75	26	55	78
CLIENTE 1	72	999	69	69	59
CLIENTE 2	47	56	999	73	67
CLIENTE 3	49	76	95	999	95
CLIENTE 4	92	28	47	64	999

Fuente. La investigación

- *Asignación del cliente.*

Una vez determinado el cliente cuya distancia sea la menor, se comienza la asignación de este cliente en la ruta que se está generando. Después de esto, se procede a colocar en la fila y columna del cliente elegido un valor lo suficientemente alto para que este valor no sea tenido en cuenta en futuras iteraciones y no haya clientes repetidos en dos instancias diferentes en la misma ruta.

Tabla 3. Asignación de cliente.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	999	999	999	999	999
CLIENTE 1	999	999	999	69	59
CLIENTE 2	999	999	999	999	999
CLIENTE 3	999	76	999	999	95
CLIENTE 4	999	28	999	64	999

Fuente. La investigación

Una vez asignado el primer cliente, se repite este mismo paso hasta que la matriz de costo no tenga ningún otro cliente para asignar, por lo que se dará por terminada la ejecución de este algoritmo dando un orden a los clientes en cuanto al mínimo costo de la matriz generada.

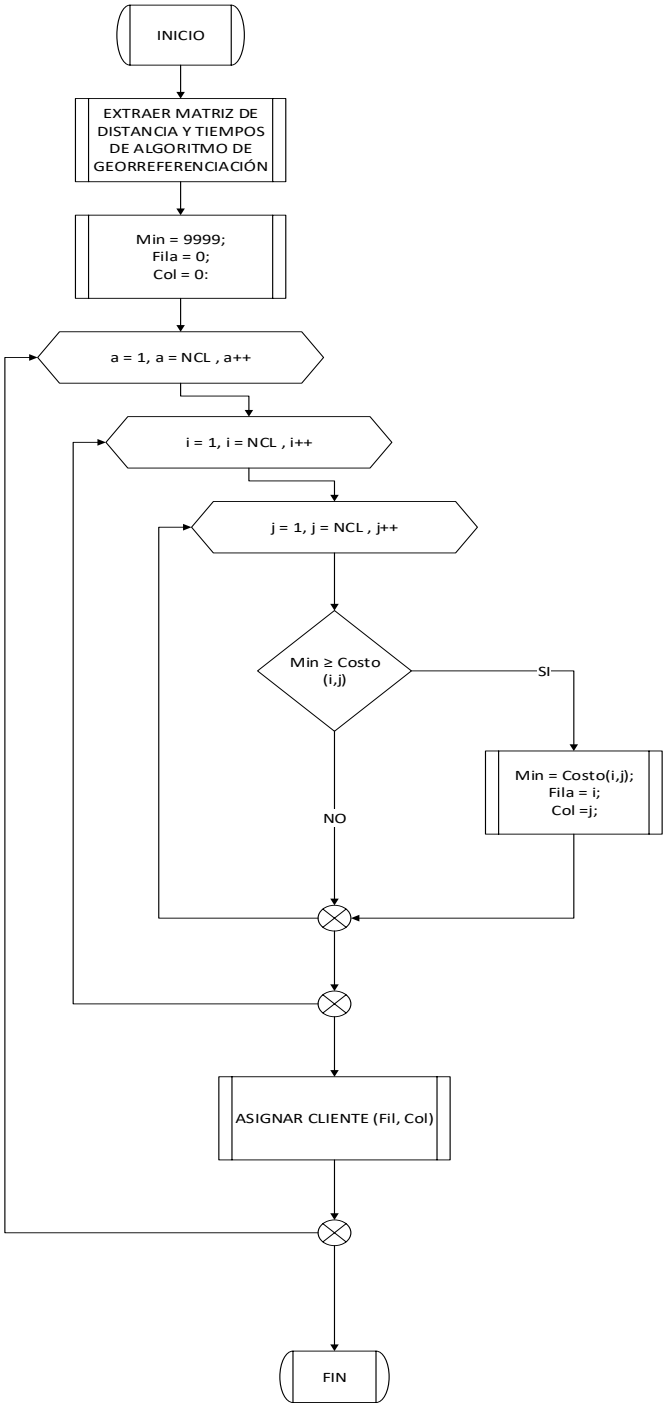
Tabla 4. Ruta generada de Vecino mas cercano

RUTA	**DEPOT**	CLIENTE 2	CLIENTE 1	CLIENTE 4	CLIENTE 3	**DEPOT**
COSTO		$ 26	$ 56	$ 59	$ 64	$ 49
	$					**254**

Fuente. La investigación

- *Diagrama de flujo*

Ilustración 15. Diagrama de flujo de vecino mas cercano.



Fuente. La investigación

II. Clarke & Wrigtht

Este algoritmo heurístico de construcción basa su criterio de asignación en una matriz ahorros en la que busca el mayor ahorro de acuerdo a la matriz de costo que se le asigne, que para este efecto será la matriz de distancias no simétrica.

- *Generación de matriz de ahorros.*

En este apartado, a diferencia del algoritmo de vecino más cercano, el método de ahorros genera una nueva matriz con base en la matriz de costo o matriz de distancia inicial que se genera. Para hallar esta nueva matriz se debe realizar el siguiente calculo expresado en la ecuación [21].

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \qquad [21]$$

Donde:

- $S_{ij} =$ El ahorro generado desde el punto i hasta el punto j
- $C_{i0} =$ El costo de ir desde el punto i hasta el depósito.
- $C_{0j} =$ El costo de ir desde el deposito al cliente j.
- $C_{ij} =$ El costo de ir desde el punto i hasta el punto j.

Con esta fórmula de ahorros, se genera la nueva matriz de ahorros, en la que se buscara los nodos que generen mayor ahorro a lo largo de la asignación de la ruta.

Tabla 5. Matriz de ahorros.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	0	0	0	0	0
CLIENTE 1	0	147	29	58	91
CLIENTE 2	0	66	73	29	58
CLIENTE 3	0	48	-20	104	32
CLIENTE 4	0	139	71	83	170

Fuente. La investigación

Como se puede observar, la fila y la columna del depósito (DEPOT), muestra un valor de ahorro 0, pero existe un inconveniente y es el de que también en esta matriz de ahorros, existen valores menores a 0, como lo es el ahorro generado entre el cliente 3 y el cliente 4; es por esta razón que se hace un arreglo adicional a la matriz de ahorros, colocando en la fila y la columna del depósito un valor lo suficientemente menor para que no sea tenido en cuenta al momento de asignar los clientes en la ruta. Así mismo, al no ser cuadrada la matriz de distancias, los valores entre el mismo cliente no darán por default el valor de 0, por lo que se dará el mismo tratamiento que a la fila y columna del depósito asignando un valor suficientemente menor.

Tabla 6. Matriz de ahorros ajustada.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	-999	-999	-999	-999	-999
CLIENTE 1	-999	-999	29	58	91
CLIENTE 2	-999	66	-999	29	58
CLIENTE 3	-999	48	-20	-999	32
CLIENTE 4	-999	139	71	83	-999

Fuente. La investigación

- *Elección del ahorro máximo.*

Una vez se haya generado la matriz de ahorros, se procede a buscar en toda la matriz el mayor ahorro posible, y en el momento en que se encuentre, se habrá encontrado los clientes i e j que serán los seleccionados para la asignación posterior.

Tabla 7. Eleccion del ahorro maximo.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	-999	-999	-999	-999	-999
CLIENTE 1	-999	-999	29	58	91
CLIENTE 2	-999	66	-999	29	58
CLIENTE 3	-999	48	-20	-999	32
CLIENTE 4	-999	**139**	71	83	-999

Fuente. La investigación

- *Asignación del cliente.*

Una vez determinados el par de clientes con el ahorro mayor, se toma el cliente i y será el primero en asignar en la ruta. Posteriormente se cancela la fila y la columna del cliente i con un valor negativo muy grande (-99999), con el fin de que este cliente no sea elegido en posteriores instancias de la misma ruta. Acto seguido, se situará en la fila del cliente j para escoger el valor mínimo de esta fila y al momento de escogerlo, el cliente j pasará a ser el cliente i y el nuevo cliente que conecte con el mayor ahorro encontrado, será el cliente j.

Tabla 8. Asignación del cliente con matriz de ahorros.

	DEPOT	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	CLIENTE 4
DEPOT	-999	-999	-999	-999	-999
CLIENTE 1	-999	-999	29	58	-999
CLIENTE 2	-999	66	-999	29	-999
CLIENTE 3	-999	48	-20	-999	-999
CLIENTE 4	-999	-999	-999	-999	-999

Fuente. La investigación

Una vez asignado el primer cliente, se repite este mismo paso hasta que la matriz de ahorros no tenga ningún otro cliente para asignar, por lo que se dará por terminada la ejecución de este algoritmo dando un orden a los clientes en cuanto al mínimo costo de la matriz generada.

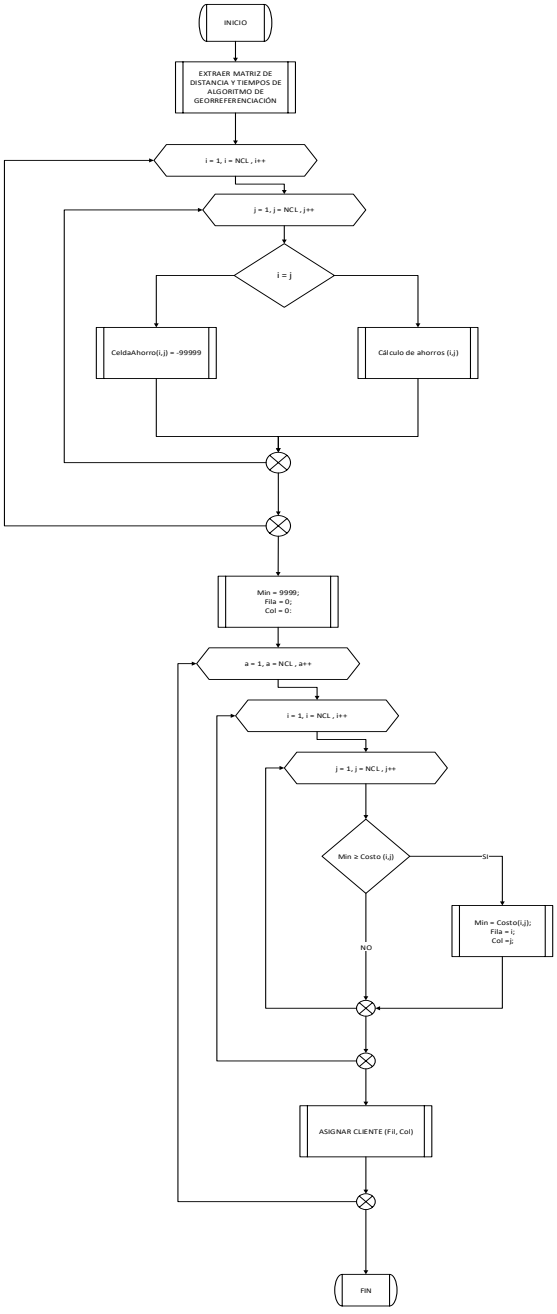
Tabla 9. Ruta generada con algoritmo de Clarke and Wright

RUTA	DEPOT	CLIENTE 4	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	DEPOT
COSTO		$ 78	$ 28	$ 69	$ 73	$ 49
	$					297

Fuente. La investigación

- *Diagrama de flujo*

Ilustración 16. Diagrama de flujo del algoritmo de Clarke and Wright



Fuente. La investigación

3.3.5.2.Criterios de decisión

Teniendo en cuenta que tanto la solución inicial como la función de costo cuenta con variables de distancias y tiempos, se deben utilizar de manera distinta con el fin de obtener los resultados deseados en términos de cumplimiento y costo. Es por eso que a continuación se explicara de manera detallada la incidencia que tienen estás dos variables en la generación de la solución inicial.

I. Distancias

La matriz de distancia, tanto para el algoritmo de Clarke & Wrigth como el algoritmo de vecino más cercano, es la base en cuanto a la toma de decisiones para la asignación de clientes; debido a que nos basamos en el supuesto de que la sensibilidad de las distancias entre dos puntos con respecto a factores externos tales como accidentes, trafico, mantenimiento de vías, etc., es mucho menor que las variables de tiempo; mostrando en las primeras una variabilidad a largo plazo debido a que a pesar de que los tiempos cambien continuamente, la distancia de un punto a otro, trataran siempre de mantenerse mientras que las segundas muestran variabilidades al corto plazo al ser susceptibles al entorno.

Por ende, el utilizar la matriz de distancias como criterio de decisión facilita la planeación de las rutas debido a que permiten un mayor control sobre las condiciones de la flota al determinar sobre datos fijos el desempeño de las mismas. Por otro lado, con el fin de georreferenciar continuamente los valores de distancias y tiempos de los clientes, se opta por la matriz de distancia como factor de decisión, debido a que los tiempos al ser altamente cambiantes, se debería generar nuevos datos en periodo de tiempo muy cortos, lo que consumiría un mayor tiempo de ejecución de la aplicación y un mayor consumo de recursos de máquina.

II. Tiempos

Aun cuando de manera directa la matriz de tiempos no ejerza de manera directa a la decisión de asignación de un cliente en la ruta con respecto a los algoritmos de construcción, esta variable, gracias a las restricciones de cumplimiento de las ventanas de tiempo, permite generar de manera directa sobre la asignación de estos clientes, ya que más adelante, dependiendo de las condiciones del cliente con respecto a sus ventanas de tiempo, tendrán una preponderancia mayor a la asignación que se realiza con los algoritmos anteriormente descritos.

III. Tiempos de servicio

Así como la matriz de tiempos, el considerar el tiempo que el conductor utiliza en entregar el pedido al cliente, afecta de forma directa a la hora de determinar el siguiente cliente que debería visitar. Es por eso que se decide contemplar estos tiempos como una serie de tiempos fijos y variables, en las que los primeros serán para aquellas actividades del conductor que, sin importar el cliente, las haga de forma rutinaria como lo puede ser el subirse o bajarse de camión, realizar los procesos de facturación, etc.; y el segundo, se asignará a tiempos con base en el volumen de pedido que se envié, ya que, con pedidos mucho más grandes, el conductor requerirá de mayor tiempo para desembarcarlo. Para calcular los tiempos variables se tomará un tiempo promedio que equivaldrá a lo que el conductor tarde en descargar un solo paquete del camión y este valor se verá afectado por el número total de unidades a descargar.

Los tiempos de servicio para efectos de esta aplicación, son expresados en la ecuación [22] de la siguiente manera:

$$TS_i = TF_k + \overline{TP}_k * D_i \qquad [22]$$

Donde:

- TS_i: Tiempo de servicio del cliente i.
- TF_k: Tiempos fijos que consume el conductor k.
- $\overline{TP_k}$: Tiempo promedio de descarga del conductor k.
- D_i: Demanda del cliente i.

3.3.5.3.Control de infactibilidades

Una de las razones por la cual se decidió usar modelos heurísticos en lugar de la optimización fue en solucionar los problemas de rigidez que presenta este último en cuanto al cumplimiento de las ventanas de tiempo, ya que puede ocurrir que aun cargando a las restricciones diferentes tipo de penalizaciones, si la ventana de tiempo de un cliente i no se cumple, este al final dará infactible sin la oportunidad de que el usuario pueda llevar un control sobre la planeación y solucionar este tipo de problemas. Una infactibilidad se presenta cuando el tiempo de partida del camión (Tiempo acumulado de la ruta más el tiempo de servicio) más el tiempo de ir desde el punto de partida al punto de destino es mayor al límite superior de la franja horaria de algún cliente por asignar.

Ën las ecuaciones [23] , [24] y [25] se determina cuando un cliente es infactible.

$$TPart_i + T_{ij} > LSup_i \quad [23]$$

$$TAcum + TS_i + T_{ij} > LSup_i \quad [24]$$

$$TAcum + (TF_k + \overline{TP}_k * D_i) + T_{ij} > LSup_i \quad [25]$$

Donde

- $TPart$: Tiempo de partida del cliente i.
- $TAcum$: Tiempo acumulado de la ruta
- T_{ij}: Tiempo que tarda ir un vehiculo en ir desde el cliente i hasta el cliente j.
- $LSup_i$: Límite superior del cliente i.

De acuerdo a lo antes mencionado, pueden llegar a existir conflictos en las ventanas de tiempos, que en modelos de optimización podría dar infactibilidades, por lo que, para este efecto, se generan 3 opciones para que el usuario, durante la ejecución del aplicativo, pueda elegir que método utilizar para resolver estos inconvenientes. Para este efecto, se le suministra al usuario información como lo es el estado actual de la ruta, los clientes que aún no han sido asignado y dos indicadores que son con respecto al porcentaje de la demanda asignada y porcentaje de la capacidad del vehiculo ocupada.

I. *Ajuste de la ventana de tiempo.*

- *Cliente*

Como se mencionó anteriormente, el aplicativo solo permite ingresar una ventana de tiempo por cliente, pero esto no quiere decir que este mismo cliente solo cuente con una única franja horaria de atención, por lo que el ajustar la ventana de tiempo se puede ingresar otras ventanas de tiempo que el cliente pueda tener o incluso, dependiendo del comportamiento del cliente, se pueda alargar o correr esta ventana de tiempo dependiendo que tan permisible sea el cliente con respecto al pedido que se le entregue.

- *Empresa*

En cuanto a la empresa, es necesario también tener en cuenta el tiempo con el que cuenta la empresa para que un vehiculo haga la ruta designada y retorne al depósito; por lo que, dependiendo de los clientes que el vehiculo tenga asignado, sea posible alargar el límite superior hasta el punto en el que camión pueda finalizar la entrega de los pedidos.

II. Excluir el cliente de la ruta.

En esta opción, es posible excluir de la ruta que se esté asignando, a un cliente cuya franja horaria no pueda ser cumplida. Al ser excluido el cliente de la ruta existente, pasara de nuevo a la fase de agrupamiento para ser reasignado a algún vehiculo que se encuentre disponible o a nuevas flotas que se vayan adicionando. Esto se hace con el fin de que, en caso de que no se pueda ajustar la ventana de tiempo del cliente excluido, este pueda encajar en otra ruta.

III. *Excluir la ruta completamente.*

Esta opción permite al usuario excluir por completo toda una ruta designada por los clústeres generados en la fase de agrupamiento. Esta opción se utiliza cuando las infactibilidades de tiempo son bastantes, mostrando que hay muchos clientes con la misma franja horaria y el vehiculo no los puede atender a todos. Cuando se genera esta exclusión, se reagrupa de nuevo todos los clientes con el fin de repartir las demandas de estos en los camiones disponibles o con adición de nuevas flotas, permitiendo buscar nuevas configuraciones que permitan generar soluciones factibles.

IV. Tiempos de espera

Los tiempos de espera se diseñaron para este aplicativo como otra forma de relajar las restricciones de ventanas de tiempo, ya que, conociendo la variabilidad de los tiempos, el desempeño del vehiculo y demás factores externos, estas esperas toman la posición de holguras con el fin de reducir los choques por franjas horarias de dos o más clientes y dar la posibilidad de que un camión pueda esperar un determinado rango de tiempo antes de que el cliente lo pueda atender. Hay que aclarar que gracias a que la función de costo tiene un componente que varía en razón del tiempo, las esperas afectan negativamente al costo al aumentar la duración de la ruta planeada. Con lo anterior, un tiempo de espera será asignado si el tiempo acumulado de la ruta está por debajo del límite inferior de la ventana de tiempo de algún cliente, pero por encima de la diferencia entre el límite inferior de la ventana inferior y el tiempo de espera.

Si se cumple la ecuación [26].

$$Linf_i - TE \leq TAcum_s \leq Linf_i \qquad [26]$$

Entonces, el tiempo de espera quedara expresado deacuerdo a la ecuación [27].

$$TE = TAcum_s - Linf_i \qquad [27]$$

Donde

- TE: Tiempo de espera delimitado por el usuario.
- $TAcum_s$: Tiempo acumulado de ruta del vehiculo s.
- $Linf_i$: Límite inferior de la ventana de tiempo del cliente i.

3.3.5.4.Procedimiento de la solución inicial

I. Generación de matrices de decisión.

Primero es necesario alimentar la fase de solución inicial con las matrices de distancias y tiempos que se generaron en la fase de georreferenciación. Acto seguido se generan las matrices de decisión dependiendo del algoritmo de construcción que se esté ejecutando. La aplicación genera una solución inicial utilizando el algoritmo de vecino más cercano y otra solución inicial usando el algoritmo de Clarke & Wrigth.

II. Control de infactibilidades

Antes de comenzar la asignación de un cliente a la ruta, es necesario saber que todos los clientes tienen condiciones de factibilidad para ser atendidos. Por lo que para este efecto se realizo un control de infactibilidades que se produzcan por la rigidez de las ventanas de tiempos de los clientes y de la empresa. En el cual se puede elegir cuando un cliente es infactible 3 opciones: ajuste de la ventana de tiempo, excluir el cliente de la ruta o excluir la ruta completamente.

III. Criterio de asignación

Una vez realizadas las matrices de decisión, se procede a realizar la asignación de clientes para generar la ruta. Para esta asignación, el aplicativo tiene un criterio definido para elegir un cliente en particular dependiendo de las condiciones de este a lo largo de la ruta. A continuación, se explica la manera como el aplicativo escoger un cliente.

IV. Ventanas de tiempos

Con el fin de dar preponderancia al cumplimiento de las restricciones de las ventanas de tiempo suaves de los clientes, se asignará primero a los clientes a los que pueda llegar el camión desde el punto de partida en el que se encuentre. Para poder elegir entre dos o más clientes con ventanas de tiempo que se puedan atender, se utiliza el criterio de llegada más pronta, es decir, cuyo tiempo de llegada al cliente esté más cerca del límite inferior de la franja horaria, con el fin de poder permitir que desde ese punto tenga mayor tiempo para atender a otro cliente con la misma ventana de tiempo. Una vez escogido el cliente a atender, se cancela en la matriz de decisión la fila y la columna de este cliente para no ser tenido en cuenta más adelante y se busca bajo el criterio de los algoritmos de construcción, cual puede ser el siguiente cliente más cercano a este.

V. Tiempos de espera

Ya revisando que el camión no pueda atender a ninguno de los clientes con ventanas de tiempo, se procede a analizar si existe la posibilidad de realizar una espera para poder atender a alguno de los clientes con estas condiciones de tiempo. Una vez escogido el cliente a atender, se cancela en la matriz de decisión la fila y la columna de este cliente para no ser tenido en cuenta más adelante y se busca bajo el criterio de los algoritmos de construcción, cual puede ser el siguiente cliente más cercano a este.

VI. Algoritmos de construcción

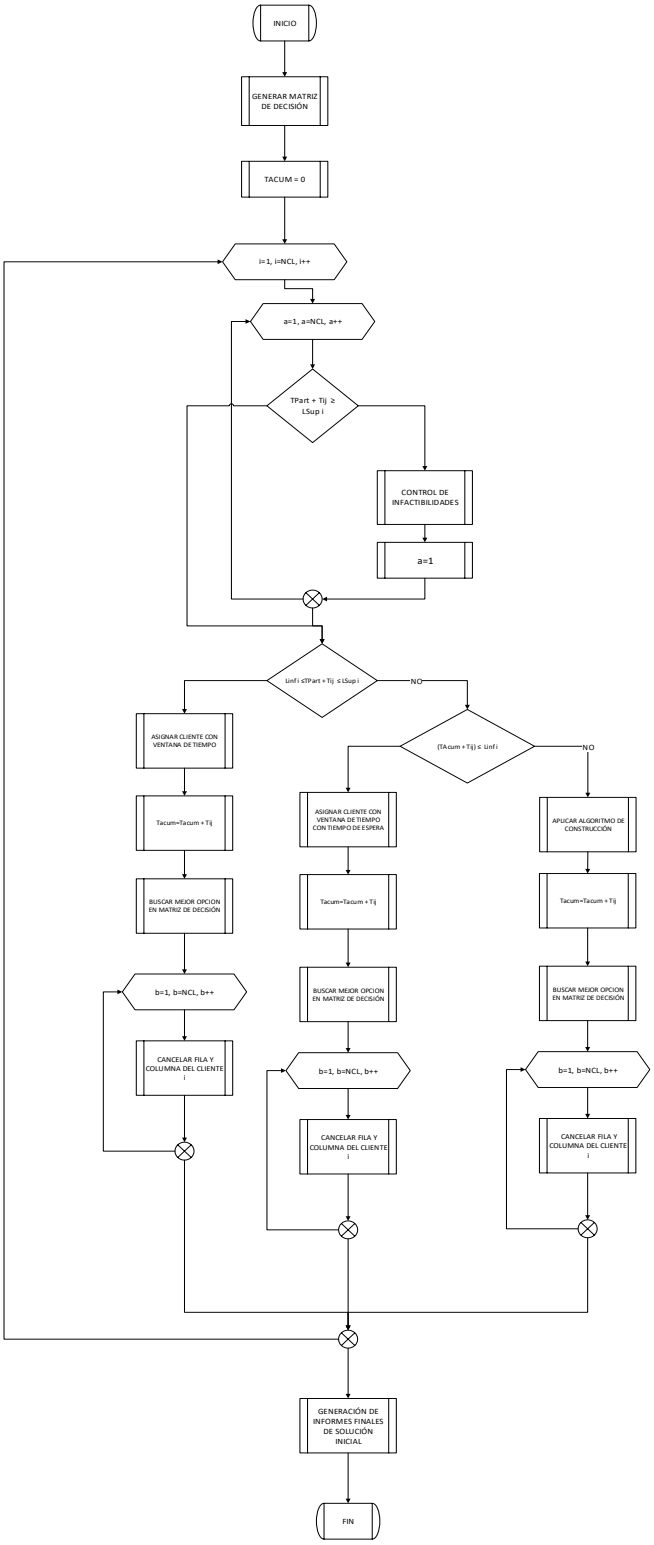
Por último, en caso de que no se pueda asignar ningún tiempo de espera, se utilizan los algoritmos de construcción para seleccionar el cliente que tenga el menor costo o mayor ahorro (dependiendo del algoritmo), desde el punto de partida en el que se encuentre el cliente hasta su siguiente destino.

VII. Generación de informes

Una vez asignada toda la ruta, se generan 2 informes de todas las rutas, la primera usando el algoritmo de Vecino más Cercano y el segundo, usando el algoritmo de Clarke & Wrigth. Acto seguido el usuario, dependiendo del resultado de los informes, escogerá que solución inicial entrará a la fase de mejoramiento iterativo.

3.3.5.5.Diagrama de flujo

Ilustración 17. Diagrama de flujo de la solución inicial.



Fuente. La investigación

3.3.6. Mejoramiento iterativo

Después de obtener la mejor solución inicial de acuerdo a los criterios y necesidades del cliente, se buscará mejorar esta solución con el fin de acercarse o alcanzar el óptimo global. Para este caso se decide utilizar algoritmos de búsqueda local, el cual busca mejorar la solución inicial con una solución alterna que sea mejor en términos de la función objetivo. Esta búsqueda es iterativa y parará hasta que no sea capaz de encontrar una mejor solución o el criterio de parada así lo exija. Para este aplicativo, se utiliza la metaheurística de Búsqueda Tabú con el fin de aplicar búsqueda local; y los movimientos entre diferentes soluciones se realizan a través de estrategias de vecindad con movimientos de intercambio e inserción.

3.3.6.1.Estrategias de vecindad

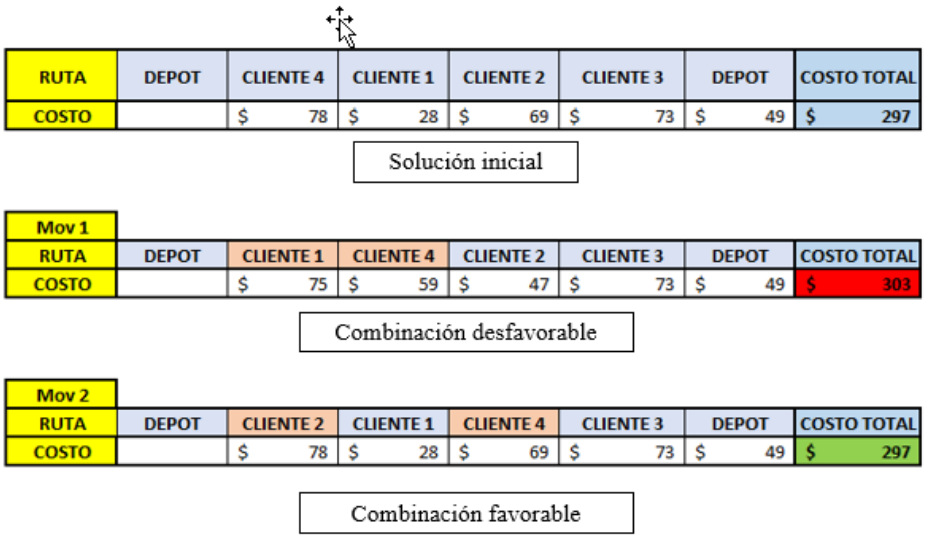
Las estrategias de vecindad consisten en realizar operaciones o movimientos que, por medio de una metaheurística, en este caso Búsqueda Tabú, permiten buscar con base en la solución inicial, nuevas soluciones que ofrezcan mejores características con respecto a la inicial y cuya función objetivo puedan estar más cerca del óptimo. Estas mejoras se evalúan con base en el proceso iterativo bajo el cual se mueva la solución inicial, por lo que una mejor o peor solución tendrá un efecto diferente dependiendo del proceso al que se someta.

Para efectos de esta aplicación se desea realizar dos movimientos de vecindad que son movimientos de intercambio y movimientos de inserción.

I. Intercambio

Este movimiento consiste en tomar la mejor solución inicial y realizar cambios de movimientos entre un par de clientes, en el que el nodo o cliente i toma la posición del cliente o nodo j y viceversa, para luego analizar el cambio en el costo y de ser positivo este cambio, se tendrá en cuenta como posible opción de mejora a la solución inicial, en caso contrario, se restaurara la solución a su estado inicial y se realizara el mismo movimiento con el siguiente cliente hasta el punto en que todos los clientes hayan intercambiado lugares.

Ilustración 18. Movimientos de intercambio

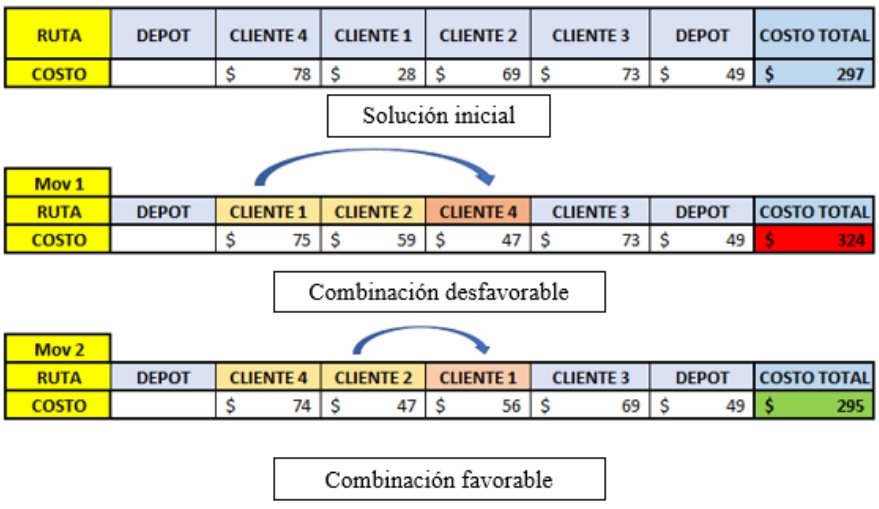


Fuente. La investigación

II. Insercion

Este movimiento consiste en tomar un cliente o nodo i y situarlo delante de un cliente j, exceptuando los depósitos, y al realizar este cambio, si la nueva solución resulta positiva, se tendrá como opción para ser el nuevo estado de la solución inicial, en caso contrario, se retornan las posiciones y se continúa colocando el cliente i delante del siguiente cliente j.

Ilustración 19. Movimientos de Insercion.



Fuente. La investigación

3.3.6.2.Búsqueda Tabú

Se decide utilizar búsqueda Tabú como metaheurística de búsqueda local, debido a que propone la posibilidad de tener en cuenta soluciones peores a la solución inicial con el fin de no entrar en óptimos locales, dando más posibilidad a los movimientos de vecindad antes descritos, el generar más soluciones y, por ende, tener un mayor rango de posibilidades de acercarse a la solución óptima. Se divide este algoritmo en intensificación, o memoria a corto plazo y diversificación o memoria a largo plazo, cada uno con un criterio distinto para la lista Tabú y el criterio de parada.

Este algoritmo cuenta con dos condiciones importantes, la lista Tabú y el criterio de parada, que servirán para controlar y evitar caer en óptimos locales. La lista Tabú permite guardar una serie de movimientos ya realizados con el fin de penalizarlos y obligar a la metaheurística a buscar nuevas soluciones y no terminar en movimientos cíclicos.

El criterio de parada permite delimitar el número de iteraciones que realizara la metaheurística hallando una solución mejor a la inicial. Para este caso, el criterio de parada estará establecido por número de iteraciones que será diferente tanto en la intensificación como en la diversificación.

En cuanto al criterio de decisión, se utiliza la función de costo de manera integral, incluyendo a la vez la matriz de distancias y de tiempos, con el fin de evaluar de forma integral el objetivo de reducir el costo total de la planeación de rutas.

3.3.6.3.Intensificacion

La intensificación permite buscar de manera exhaustiva movimientos o vecindades que generen un mejor costo al actual dentro del mismo espacio de soluciones. Para este caso, se toman de manera independiente cada una de las rutas generadas en la solución inicial y se realizan sobre estas los movimientos de inserción o intercambio, y de acuerdo a los criterios de Búsqueda Tabú, elegir que solución puede llevar a un mejor costo al de la solución inicial.

Cuando se realiza algún movimiento de intercambio o inserción, primero se debe manejar un criterio de validación con respecto a las restricciones de cumplimiento de las ventanas de tiempo, en el que después de validar que el movimiento no sea Tabú, pasara a examinar la factibilidad con respecto a su ventana de tiempo, y en caso de que no pueda satisfacerla, se utilizaran los tiempos de espera para lograr tal cometido.

3.3.6.4.Diversificacion

La diversificación permite generar una memoria a largo plazo, en la que sus movimientos no se centran en mejorar de manera exhaustiva la solucion de un único espacio, sino que esta parte, se encarga de buscar nuevos espacios de solucion. Para este caso, se toman todas las rutas generadas desde solucion inicial una vez hayan pasado por el proceso de intensificación, ya que obteniendo el mejor estado posible de este estado, se procede a buscar si existe otro espacio cuyas condiciones sean mejores a las actuales. De igual manera, también tiene un criterio de asignación igual al de diversificación con el añadido que también analiza las capacidades en cada una de las rutas, con el fin de evitar que se desfasen en cuanto a este aspecto.

3.3.6.5.Criterio de parada

El criterio de parada para esta instancia de memoria a corto plazo, se establecido de 50 iteraciones por cada ruta que se itere, ya sea con movimientos de inserción o de intercambio. En cambio, para la instancia de diversificación, se establecio un criterio de parada de 10 iteraciones debido al gran consumo de recurso maquina al realizar mayor cantidad de movimientos.

3.3.6.6.Lista tabu

La lista Tabú para la memoria a corto plazo se dejó con un valor 10 movimientos Tabu, tanto para Intensificacion como para Diversificacion, debido a que asi se permite un mayor criterio a la hora de buscar nuevas soluciones a posteriori.

3.3.7. Validación de resultados

A continuación, para poder realizar la validación de lo resultados, se establece un escenario para probrar las capacidades de la aplicación diseñada.

En el escenario se utilizara 50 clientes con restricciones de tiempo, con una flota de 10 Camiones la cual tiene una ventana de tiempo dada por parte del analista.

3.3.7.1. Escenario de 50 clientes

I. Informacion de entrada

a. Clientes.

Se establece una población de 50 clientes con las siguientes caracterisiticas.

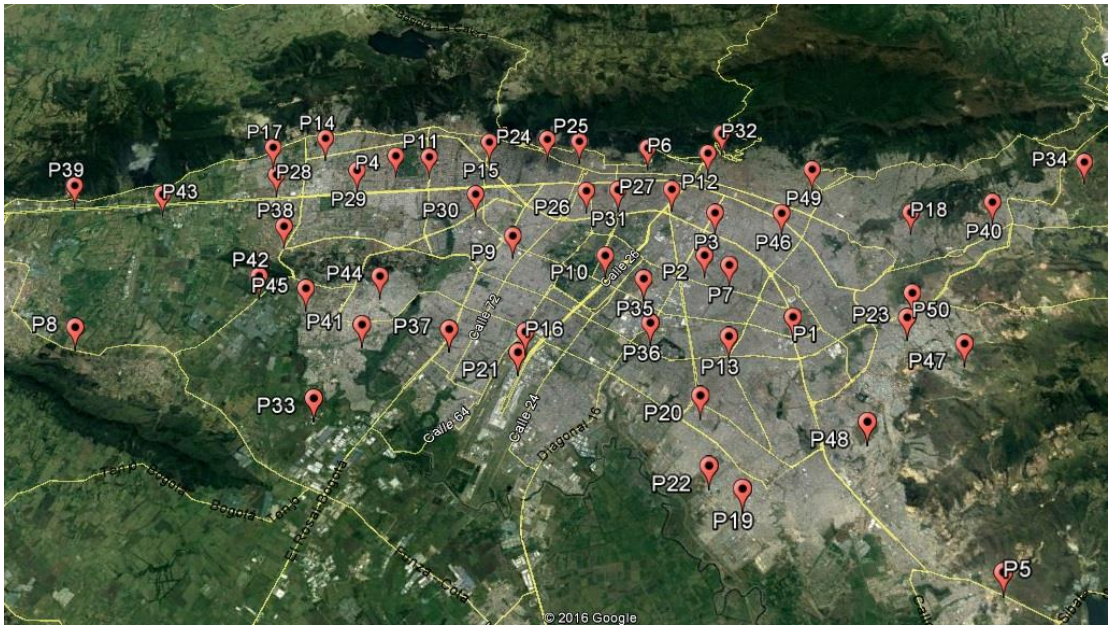
Tabla 10. Informacion de clientes.

No. CLIENTE	CODIGO	ESTADO	NOMBRE CLIENTE	DIRECCIÓN	COORDENADAS	HORARIO (INICIO)	HORARIO 1(FIN)	DEMANDA
0	DEPOT	ACTIVO	CENTRO DE DESPACH	CALLE 26 # 92 - 32 LO	4.683100, -74.120875	-	-	0
1	P1	ACTIVO	JM& RQ LOC 1	DIG 44 SUR N.51-90	4.595613, -74.138766	6:00:00	10:00:00	29
2	P2	ACTIVO	JM& RQ LOC 2	Calle 5A #43-22	4.619047, -74.109666	-	-	33
3	P3	ACTIVO	JM& RQ LOC 3	CRA 30 N.10-77	4.611175, -74.094530	6:00:00	11:00:00	43
4	P4	ACTIVO	JM& RQ LOC 4	Calle 134 #17-71	4.717576, -74.046554	-	-	26
5	P5	ACTIVO	JM& RQ LOC 5	AUTOP SUR KM 17	4.555875, -74.236114	-	-	29
6	P6	ACTIVO	JM& RQ LOC 6	CRA 7 # 40-62 HOSP U	4.628201, -74.064078	5:00:00	13:00:00	36
7	P7	ACTIVO	JM& RQ LOC 7	CRA 41C #2A-95 ZAPA	4.611637, -74.115173	-	-	33
8	P8	ACTIVO	JM& RQ LOC 8	KM 2.5 VIA COTA - CH	4.834440, -74.087934	-	-	40
9	P9	ACTIVO	JM& RQ LOC 9	CLL 73 A No 69-33	4.682669, -74.087390	-	-	36
10	P10	ACTIVO	JM& RQ LOC 10	AV DORADO CON CL	4.652775, -74.102054	-	-	27
11	P11	ACTIVO	JM& RQ LOC 11	COST.SUR-ORIEN AE	4.705853, -74.049651	-	-	33
12	P12	ACTIVO	JM& RQ LOC 12	CRA 7 N. 21- 46	4.607497, -74.070902	6:00:00	13:00:00	35
13	P13	ACTIVO	JM& RQ LOC 13	AV.1 DE MAYO #72-5	4.618764, -74.140687	-	-	43
14	P14	ACTIVO	JM& RQ LOC 14	CLLE 163A #28-60	4.741348, -74.033620	6:30:00	13:00:00	44
15	P15	ACTIVO	JM& RQ LOC 15	Cra 15 # 98 - 55	4.683559, -74.048468	-	-	29
16	P16	ACTIVO	JM& RQ LOC 16	Cra 94 # 42-94	4.685613, -74.123744	6:00:00	13:00:00	33
17	P17	ACTIVO	JM& RQ LOC 17	CRA 11 # 183-90 USA	4.760299, -74.033311	6:00:00	13:00:00	30
18	P18	ACTIVO	JM& RQ LOC 18	CALLE 49 D # 2 B - 26	4.543816, -74.109943	-	-	42
19	P19	ACTIVO	JM& RQ LOC 19	CRA.89A BIS SUR #61	4.628375, -74.192298	5:00:00	13:00:00	32
20	P20	ACTIVO	JM& RQ LOC 20	DIAG.38SUR #81F-16	4.633550, -74.158869	-	-	33
21	P21	ACTIVO	JM& RQ LOC 21	AV CALLE 26 No 100 -	4.689542, -74.130442	-	-	40
22	P22	ACTIVO	JM& RQ LOC 22	Cl 49D Sur # 92A-34	4.636926, -74.182584	-	-	30
23	P23	ACTIVO	JM& RQ LOC 23	Cll 66 C sur #18Y-03 S	4.557969, -74.147787	-	-	43
24	P24	ACTIVO	JM& RQ LOC 24	CLL 79B # 8 - 79	4.662794, -74.052190	-	-	34
25	P25	ACTIVO	JM& RQ LOC 25	CLL 69A # 5 - 61	4.651689, -74.055743	-	-	35
26	P26	ACTIVO	JM& RQ LOC 26	CRA 28 # 63B - 07	4.653576, -74.075793	5:00:00	11:00:00	44
27	P27	ACTIVO	JM& RQ LOC 27	CLL 24 N 29-61	4.623771, -74.082048	5:00:00	12:00:00	32
28	P28	ACTIVO	JM& RQ LOC 28	CL 183 AUTOPISTA N	4.760560, -74.044612	-	-	36
29	P29	ACTIVO	JM& RQ LOC 29	AUOPISTA NORTE #	4.732101, -74.049295	5:00:00	15:00:00	45
30	P30	ACTIVO	JM& RQ LOC 30	CRA 65 # 103 - 75 LA F	4.692344, -74.068255	6:00:00	11:00:00	26
31	P31	ACTIVO	JM& RQ LOC 31	CLL 53 # 28 - 70	4.642495, -74.077895	-	-	42
32	P32	ACTIVO	JM& RQ LOC 32	AV CIRCUNVALAR # 1	4.600626, -74.064489	-	-	42
33	P33	ACTIVO	JM& RQ LOC 33	KM 2.5 AUTOPISTA N	4.758746, -74.131249	5:00:00	10:00:00	41
34	P34	ACTIVO	JM& RQ LOC 34	A 7 KM DELANTE DE U	4.477796, -74.105511	6:00:00	13:00:00	43
35	P35	ACTIVO	JM& RQ LOC 35	AV CR 68 # 17-64	4.641818, -74.113570	-	-	26
36	P36	ACTIVO	JM& RQ LOC 36	CL 12 BIS # 71D - 50	4.643494, -74.129998	-	-	38
37	P37	ACTIVO	JM& RQ LOC 37	CRA 104A # 77 - 15	4.710634, -74.117049	-	-	28
38	P38	ACTIVO	JM& RQ LOC 38	AV BOYACA CON 170	4.760410, -74.065957	-	-	43
39	P39	ACTIVO	JM& RQ LOC 39	200 MTS ADELANTE P	4.831445, -74.032831	-	-	37
40	P40	ACTIVO	JM& RQ LOC 40	Calle 75 Sur # 9C -17	4.514667, -74.112820	-	-	41
41	P41	ACTIVO	JM& RQ LOC 41	CALLE 131 A # 125 - 4	4.739250, -74.108784	-	-	29
42	P42	ACTIVO	JM& RQ LOC 42	KM 3 VIA SUBA - COT	4.771201, -74.083041	-	-	43
43	P43	ACTIVO	JM& RQ LOC 43	Cll 223 # 52-47	4.801115, -74.043400	-	-	32
44	P44	ACTIVO	JM& RQ LOC 44	Calle 129 D # 94D - 31	4.730507, -74.092298	5:00:00	11:00:00	42
45	P45	ACTIVO	JM& RQ LOC 45	Carrera 103 # 153 - 01	4.756081, -74.091159	6:00:00	11:00:00	28
46	P46	ACTIVO	JM& RQ LOC 46	CLL 14 SUR # 20 - 10	4.588251, -74.099946	-	-	41
47	P47	ACTIVO	JM& RQ LOC 47	DIAG 74B BIS SUR No	4.543130, -74.161698	6:00:00	11:30:00	34
48	P48	ACTIVO	JM& RQ LOC 48	CLL 65 SUR # 77 G - 39	4.582911, -74.180253	-	-	40
49	P49	ACTIVO	JM& RQ LOC 49	CRA 3 ESTE No 18 - 51	4.572772, -74.085671	-	-	33
50	P50	ACTIVO	JM& RQ LOC 50	CRR 17 D # 65-72 SUR	4.553200, -74.139451	5:00:00	10:30:00	28

VENTANA DE TIEMPO DE LA EMPRESA		
RANGO	HORARIO (INICIO)	HORARIO 1(FIN)
10 HORAS	6:00:00	16:00:00

Y se presenta la ubicación de los 50 clientes distribuidos en toda la ciudad de Bogotá.El punto de color amarillo indica la posición del deposito del que parten todos los camiones.

Ilustración 20. Localizacion de los clientes.



b. Camiones.

Se cuenta con la siguiente flota disponible.

Tabla 11. Informacion de camiones.

ORDEN	PLACA	EMPRESA	REFERENCIA	CAPACIDAD KG	CAPACIDAD CTAS	NOMBRE_MARCA
C1	ABC001	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	CHEVROLET
C2	ABC002	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	MITSUBISHI
C3	ABC003	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	CHEVROLET
C4	ABC004	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	CHEVROLET
C5	ABC005	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	CHEVROLET
C6	ABC006	INDEPENDIENTES	NPR	4255	310	CHEVROLET
C7	ABC007	INDEPENDIENTES	NPR	4255	310	CHEVROLET
C8	ABC008	INDEPENDIENTES	NHR	1800	180	CHEVROLET
C9	ABC009	INDEPENDIENTES	NHR	1800	250	CHEVROLET
C10	ABC012	INDEPENDIENTES	LUV	1000	180	CHEVROLET

c. Costos

Tabla 12. Costos de gasolina y aceite.

		GASOLINA			ACEITE		
ORDEN	ORDEN	TIPO GASOLI	RENDIMIENT	PRECIO	COSTO	SE REALIZO	COSTO FO
C1	ABC001	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C2	ABC002	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C3	ABC003	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C4	ABC004	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C5	ABC005	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C6	ABC006	ACPM	19	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C7	ABC007	ACPM	19	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C8	ABC008	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C9	ABC009	ACPM	24	$ 7.771,0	100000	NO	$ -
C10	ABC012	ACPM	25	$ 7.771,0	100000	NO	$ -

Tabla 13. Costos de llantas y mantenimientos.

		LLANTAS						
ORDEN	PLACAS	UNIDADES COMPRA	COSTO/UNIDAD	COSTO $ COP	UNIDADES ARREGLO	COSTO $ COP /UN	COSTO $ COP	COSTO TOTAL
C1	ABC001	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C2	ABC002	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C3	ABC003	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C4	ABC004	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C5	ABC005	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C6	ABC006	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C7	ABC007	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C8	ABC008	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C9	ABC009	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -
C10	ABC012	0	617900	$ -	0	$ 30.000,0	$ -	$ -

II. *Recursos*

Con la información que se acaba de presentar, se ingreso en la aplicación para determinar la planeación de rutas que genera. Se dispuso de un ordenador , con las siguientes características:Procesador Intel Core I5 4 nucleos a una velocidad de 2,5 GHZ , 4 GB RAM DDR3.

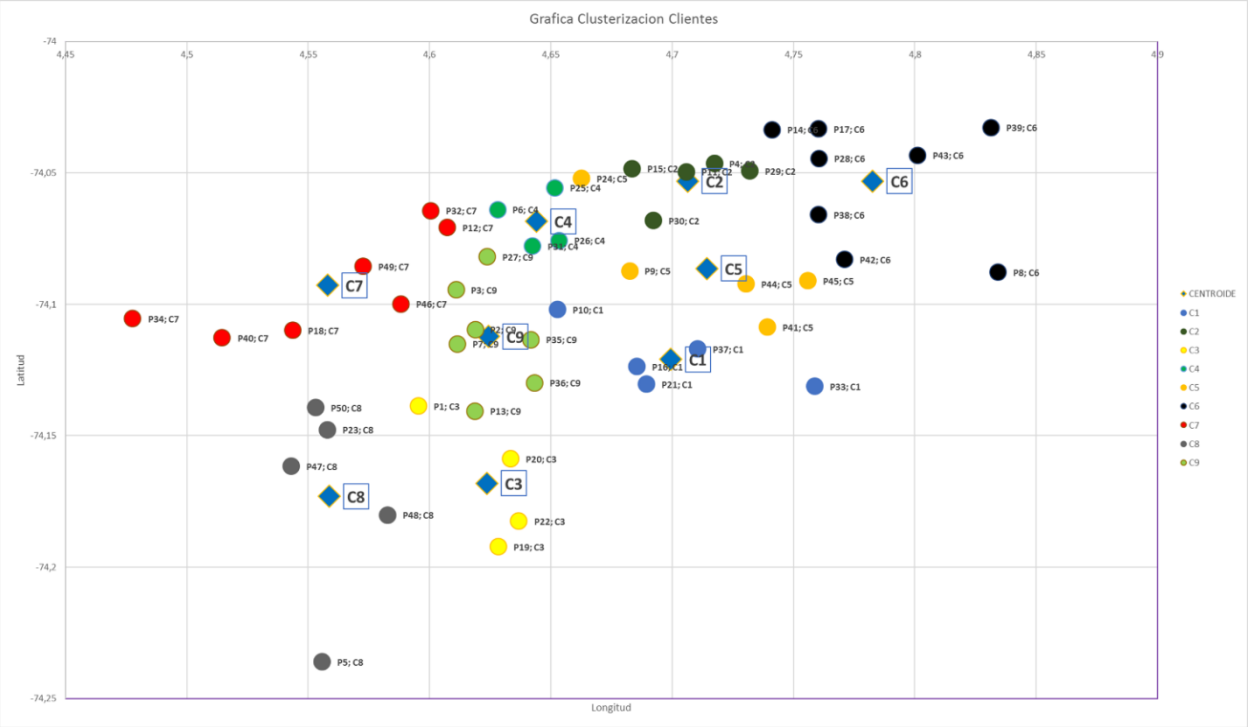
El tiempo de procesamiento para los resultados mostrados fue de 1 hora 30 minutos. Sin contar el tiempo que toma las tomas de decisiones por parte del usuario dentro del aplicativo

III. *Resultados*

I. Agrupacion de datos

Para este apartado, con una flota disponible de 10 vehiculos, el algoritmo de agrupación puedo establecer con 9 vehiculos una asignación para todos los clientes, lo que quiere decir que se permite tener una flota disponible para eventuales casos donde la rigidez de las ventanas de tiempo son altas y permitir relajar cada uno de clústeres. A continuación se presenta la agrupación realizada en esta fase de la aplicación.

Ilustración 21. Agrupamiento de datos.



Fuente.Aplicacion de planeación de rutas.

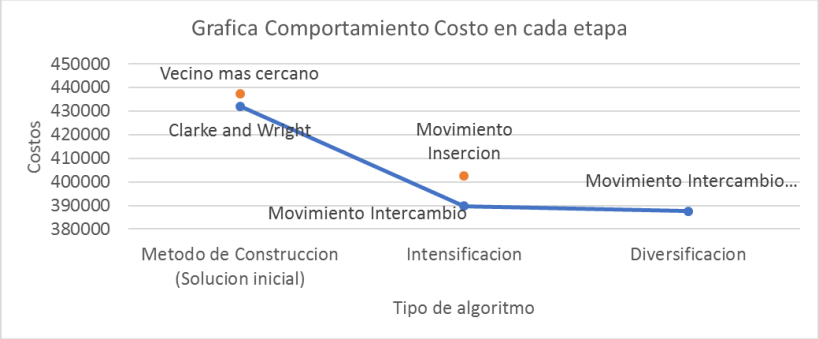
II. Resultados por fase

A continuación se presentan los costos que generaron desde las fases de solucion inicial con los algoritmo de vecino mas cercano y Clarke & Wright y en la fase de mejoramiento con las dinámicas de intensificación y diversificación. En los anexos 3, 4 y 5 se encuentran los informes detallados de cada uno de los algoritmos.

Ilustración 22. Costos generales por fase.

			SELECCIÓN	
Tipo algoritmo	ALGORITMO	COSTO	ALGORITMO	COSTO
Metodo de Construccion (Solucion inicial)	Clarke and Wright	$ 432.140,6	Clarke and Wright	$ 432.140,6
	Vecino mas cercano	$ 437.477,3		
Intensificacion	Movimiento Intercambio	$ 402.390,5	Movimiento Intercambio	$ 389.722,5
	Movimiento Insercion	$ 389.722,5		
Diversificacion	Movimiento Intercambio entre rutas	$ 387.508,5		
	Costo Final	$ 387.508,5		

Ilustración 23. Grafico Comportamiento Costos



III. Rutas generadas

- *Ruta No 1*

Ilustración 24. Ruta Nro 1.

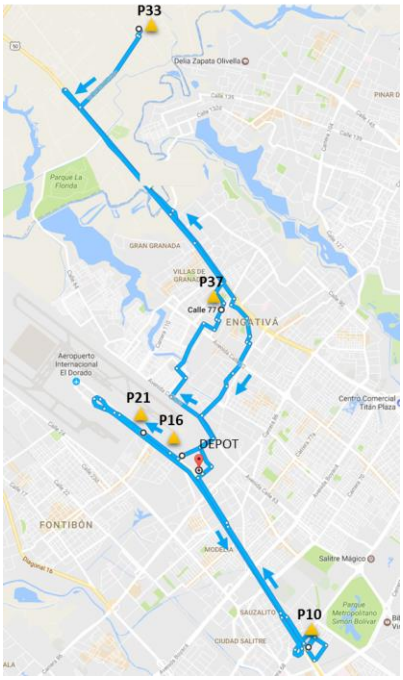


Ilustración 25. Cluster Ruta Nro 1.

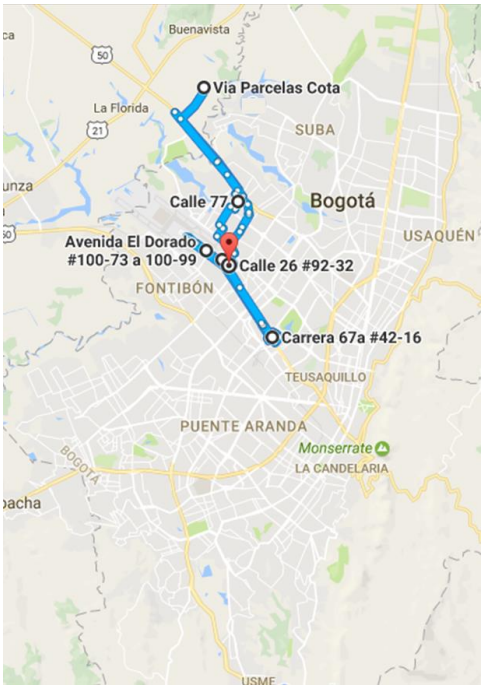


Tabla 14 Ruta Nro 1.

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Ruta	DEPOT	P37	P33	P16	P21	P10	DEPOT

- *Ruta No 2*

Ilustración 26. Ruta Nro 2

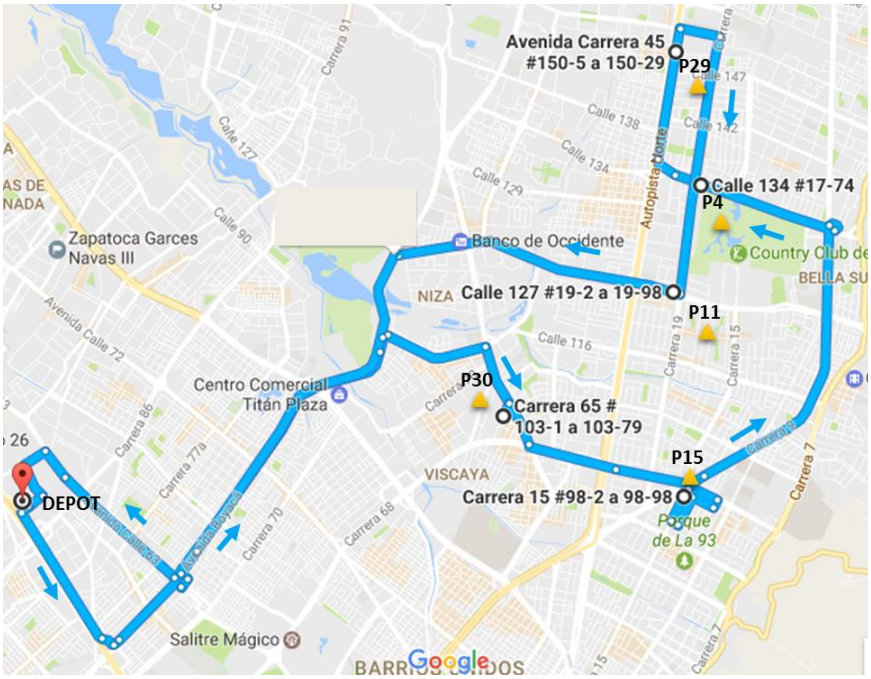


Ilustración 27. Cluster Ruta Nro 2.

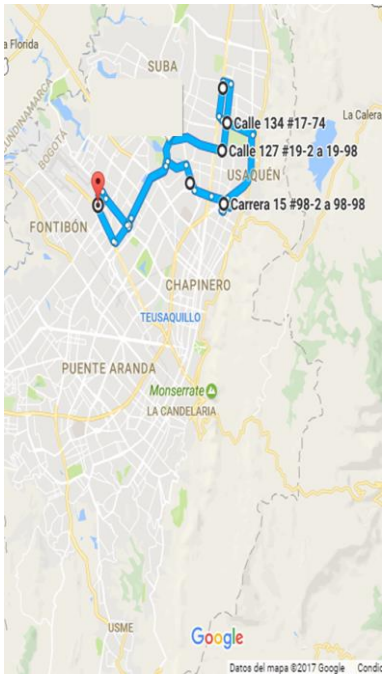


Tabla 15 Ruta Nro 2

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Ruta	DEPOT	P30	P15	P4	P29	P11	DEPOT

- *Ruta No 3*

Ilustración 28. Ruta Nro 3

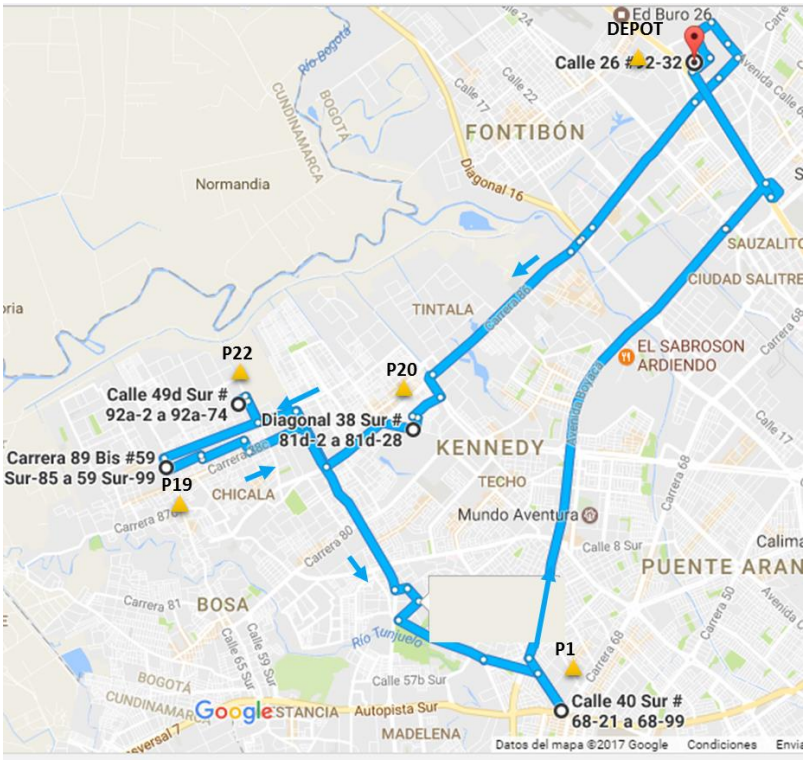


Ilustración 29. Cluster Ruta Nro 3.

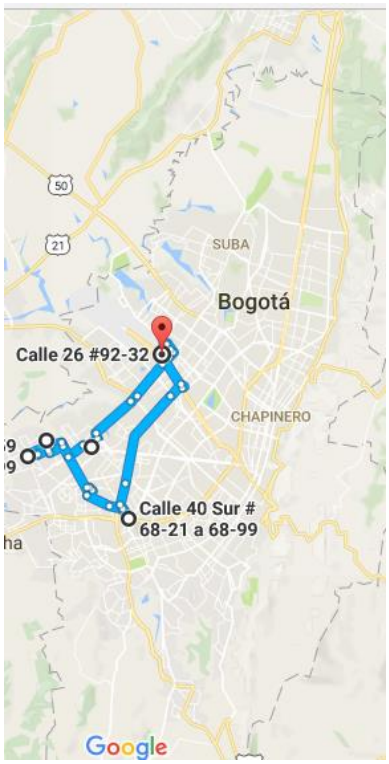


Tabla 16 Ruta Nro 3

Orden	1	2	3	4	5	6
Ruta	DEPOT	P20	P22	P19	P1	DEPOT

- *Ruta No 4*

Ilustración 30. Ruta Nro 4

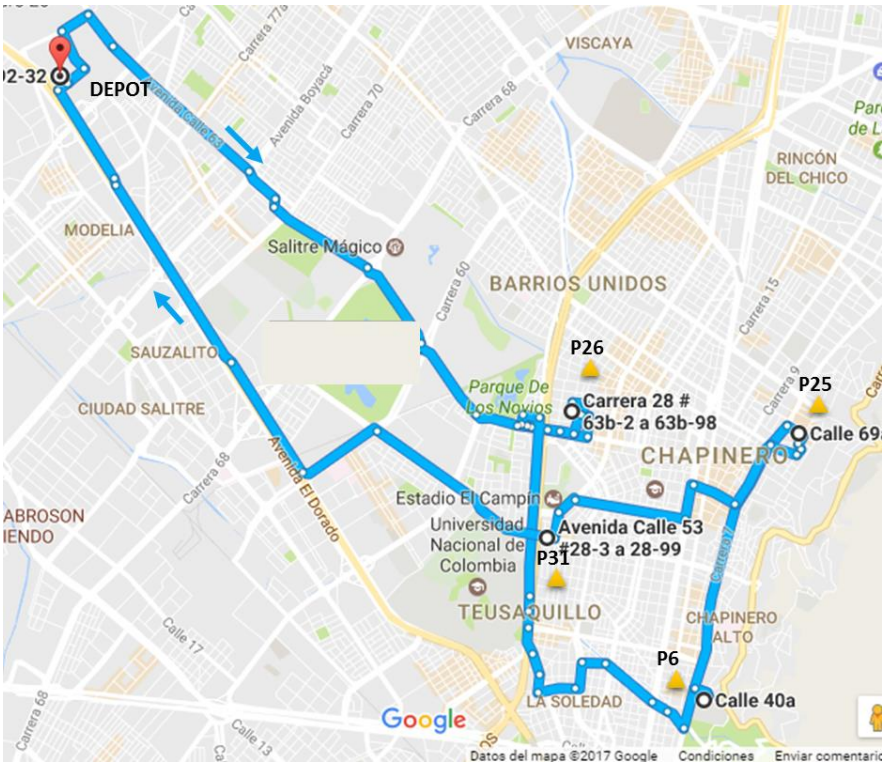


Ilustración 31. Cluster Ruta Nro 4.

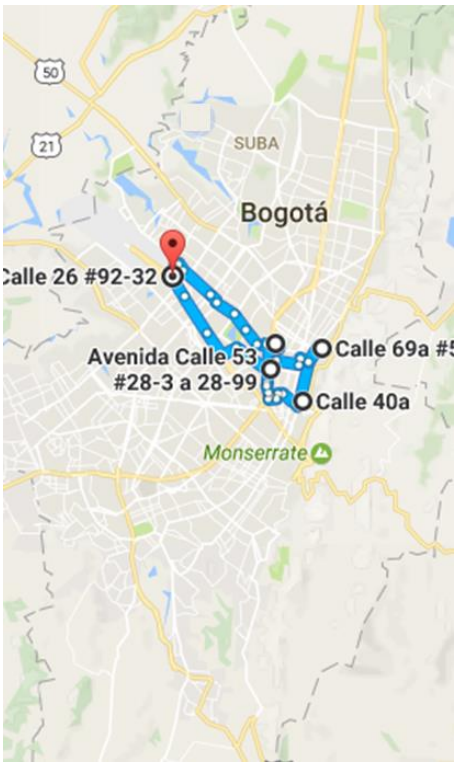


Tabla 17 Ruta Nro 4

Orden	1	2	3	4	5	6
Ruta	DEPOT	P26	P6	P25	P31	DEPOT

- *Ruta No 5*

Ilustración 32. Ruta Nro 5

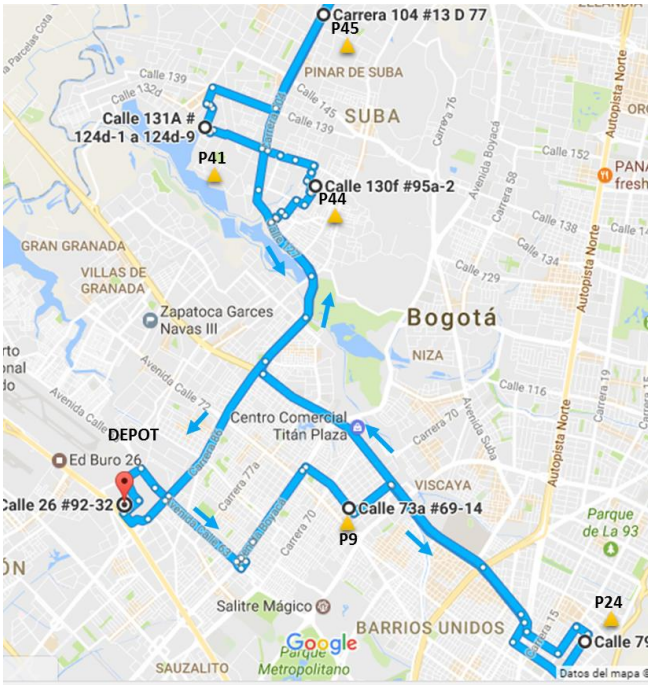


Ilustración 33. Cluster Ruta Nro 5.

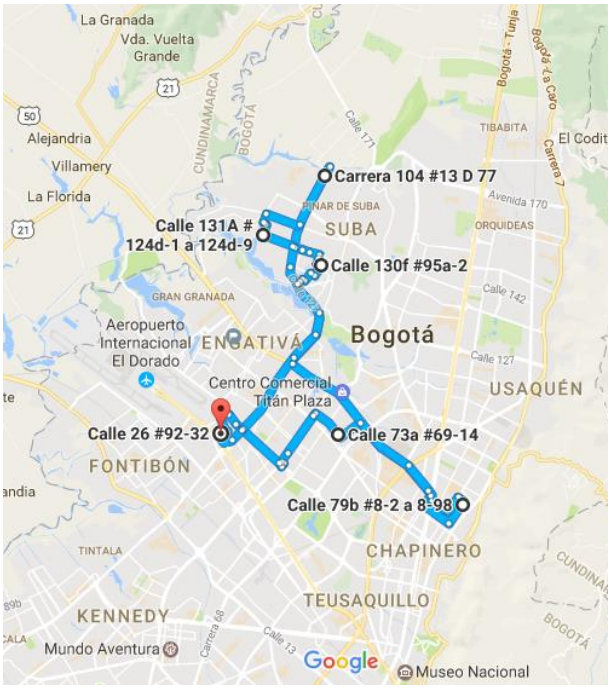


Tabla 18 Ruta Nro 5

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Ruta	DEPOT	P9	P24	P44	P45	P41	DEPOT

- *Ruta No 6*

Ilustración 34. Ruta Nro 6.

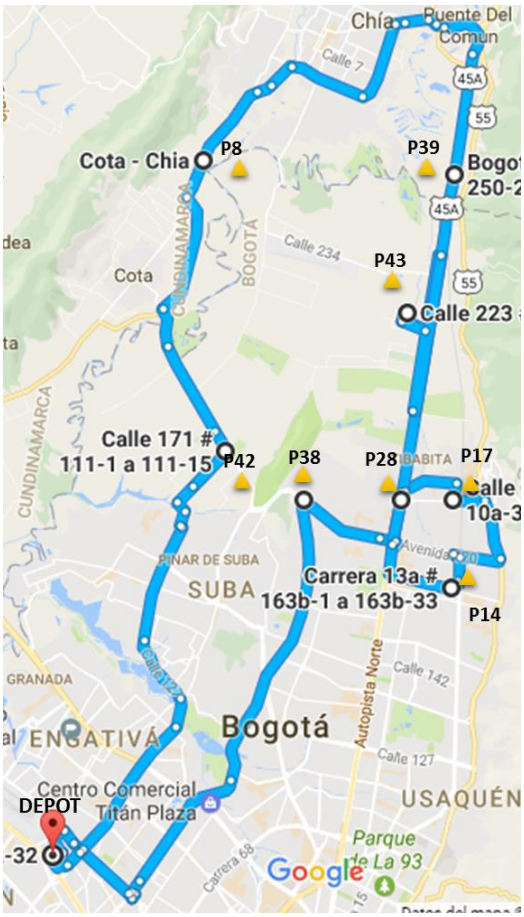


Ilustración 35. Cluster Ruta Nro 6.



Tabla 19 Ruta Nro 6.

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ruta	DEPOT	P38	P28	P17	P14	P43	P39	P8	P42	DEPOT

- *Ruta No 7*

Ilustración 36 Ruta Nro 7

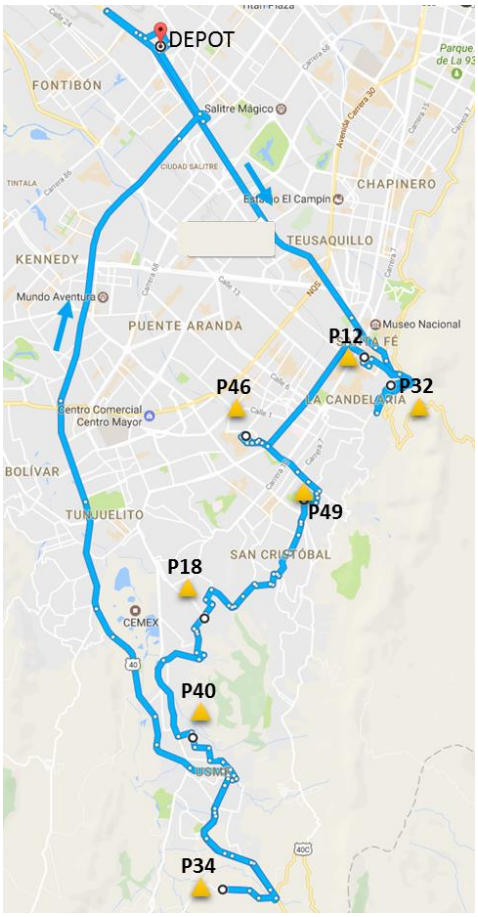


Ilustración 37. Cluster Ruta Nro 7.

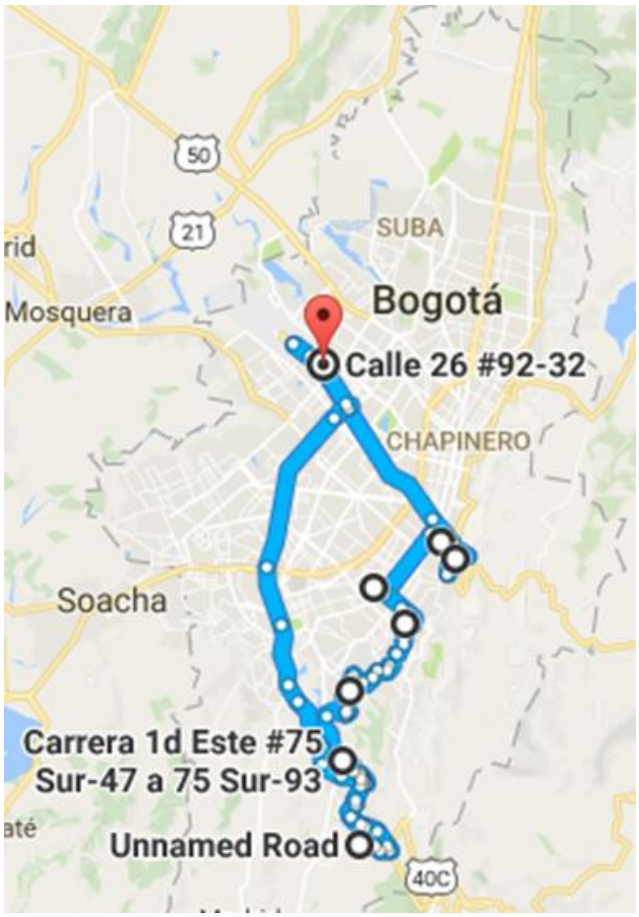


Tabla 20 Ruta Nro 7

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ruta	DEPOT	P32	P12	P46	P49	P18	P40	P34	DEPOT

- *Ruta No 8*

Ilustración 38 Ruta Nro 8

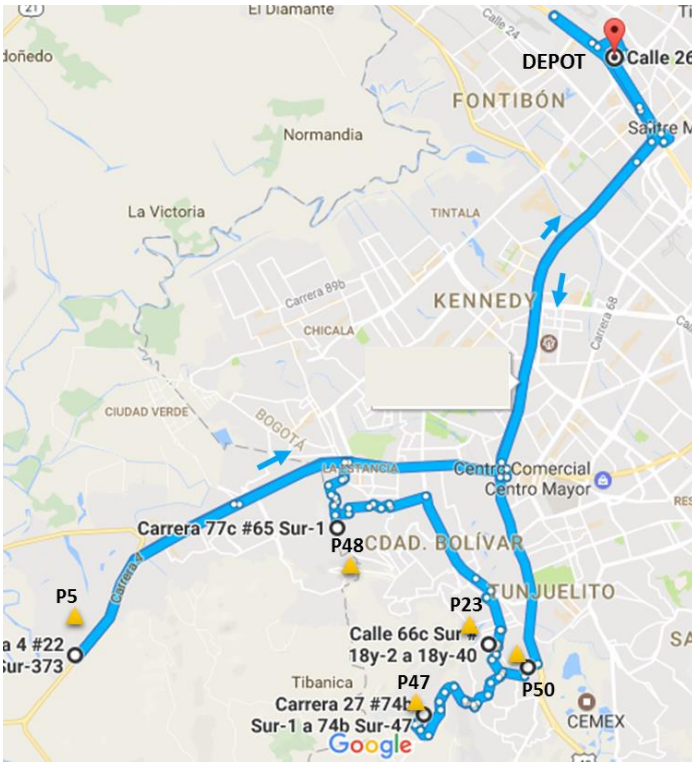


Ilustración 39. Cluster Ruta Nro 8.

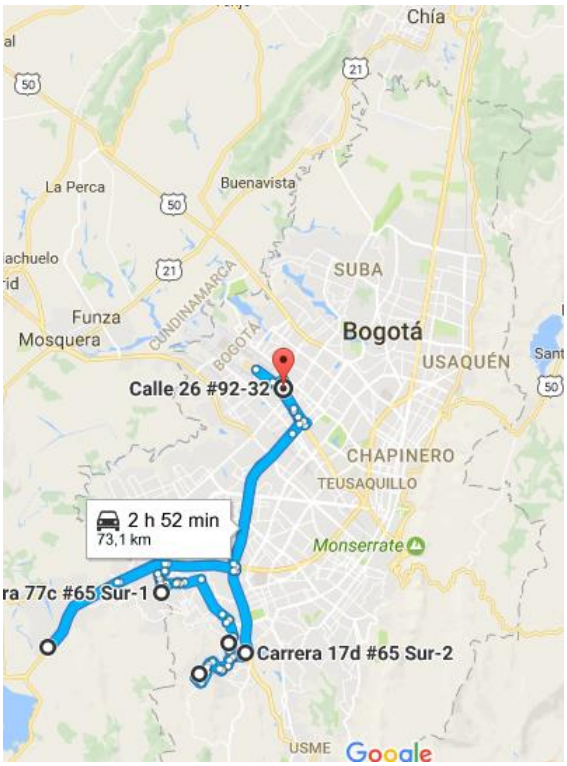


Tabla 21 Ruta Nro 8

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Ruta	DEPOT	P50	P47	P23	P48	P5	DEPOT

- *Ruta No 9*

Ilustración 40 Ruta Nro 9

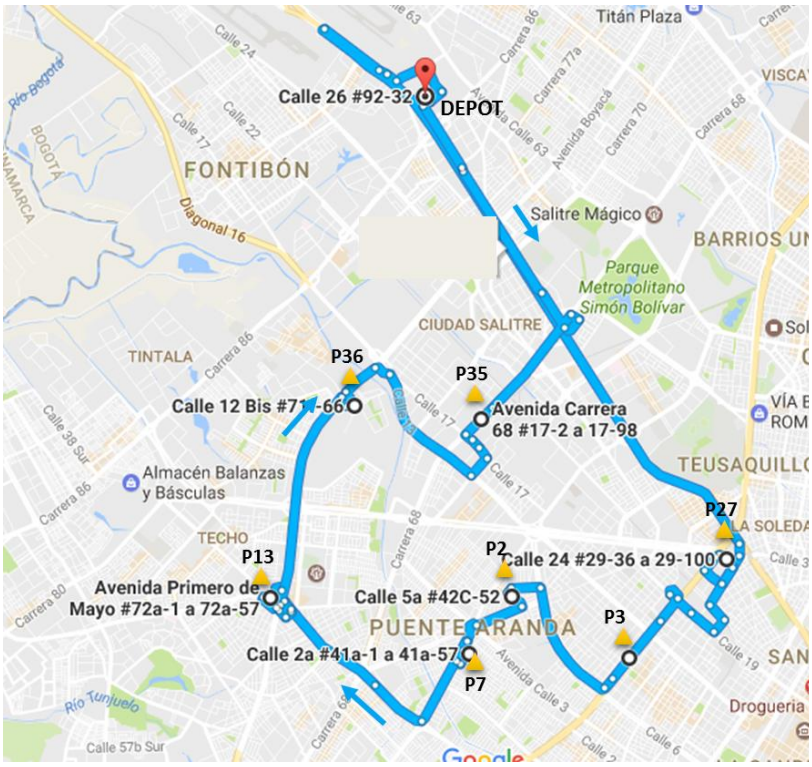


Ilustración 41. Cluster Ruta Nro 9.

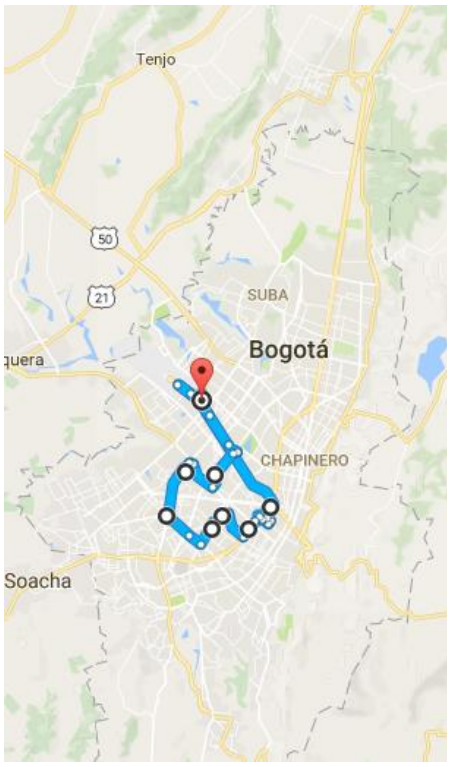


Tabla 22. Ruta Nro 9

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8
Ruta	P27	P3	P2	P7	P13	P36	P35	DEPOT

3.3.7.2.Conclusiones

Con lo implementado en este trabajo se pudo evidenciar como el uso de algoritmos heurísticos y metahuristicos pueden generar muy buenas soluciones con factores cada vez mas cercanos a las necesidades del usuario en términos de características del problema como en facilidades de uso y reducción de infactibilidades en tiempo real. A diferencia de los modelos de VRP cuya solución es el optimo, factores como la flexibilidad del problema e interactividad con el usuario, resultan ser mejores en el aplicativo diseñado.

El implementar dos algoritmos de construcción paralelamente otorgo a la aplicación diseñada, poder tomar un valor mas bajo de la función de costo y a su vez. Esto permite obtener dos soluciones que bajo ópticas diferentes pueden ser mas beneficiosas para el usuario, ya sea en términos de capacidad utilizada, o costo de operación mas bajo o nivel de servicio y cumplimiento mas alto.

Durante el desarrollo de esta aplicación se observa que el aumento de las ventanas de tiempos de los clientes, genera en la fase de algoritmo de construcción una reducion considerable en los escenarios de construcción que estos puedan crear. Llevando a que en fases posteriores de mejoramiento iterativo, las respuestas generadas no disminuyan en su costo de una manera considerable con respecto a los algoritmos de construcción.

Las empresas que aplican la distribución de productos en estos días, aun presentan dificultades para planificar el ruteo de vehículos, debido a que los modelos tradicionales de optimización VRP requieren de grandes cantidades de recurso de computo para poder ejecutarlos. Las empresas que no tienen acceso a estos modelos, utilizan la experiencia y experticia sabiendo que no generara los mejores resultados en su planeación. Es por eso eso que la realización de este tipo de aplicaciones que implementan métodos y procedimientos heurísticos y metahuristicos , asi como búsqueda local, estrategias de vecindad y algoritmos de construcción, ayudan a compilar en una aplicación de uso común como lo es el entorno de Visual Basic for Applications (VBA) , a ser utilizada debido a la que es una herramienta muy utilizada y posee un lenguaje fácil de enterder.

Referencias

Antun, P., De Buen Richkarday, O., & Aguerrebere Salido, R. (1995). *Logística: Una visión sistémica*. JOUR.

Arifin, Z., Ibrahim, M. R., & Hatta, H. R. (2016). Nearest tourism site searching using Haversine method. *2016 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 293–296. https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892458

Atuesta, D. F. G., & Carvajal, C. E. R. (2011). *FORMULAR LAS METAHEURÍSTICAS BÚSQUEDA TABÚ Y RECOCIDO SIMULADO PARA LA SOLUCIÓN DEL CVRP (CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM)*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Ballou, R. H. (2004). *Lógistica, Administración de la Cadena de suministro* (Quinta). Mexico: PEARSON EDUCACION. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.

Chen, H. K., Hsueh, C. F., & Chang, M. S. (2009). Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products. *Computers and Operations Research*, *36*(7), 2311–2319. https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.09.010

Cheng, H., Wang, F., Tao, R., Luo, H., & Zhao, F. (2012). Clustering algorithms research for device-clustering localization. In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2012 International Conference on* (pp. 1–7). IEEE.

Chopde, N., & Nichat, M. (2013). Landmark Based Shortest Path Detection by Using A* and Haversine Formula. *GH Raisoni College of Engineering and …*, *1*(2), 298–302. Retrieved from http://www.ijircce.com/upload/2013/april/17_V1204030_Landmark_H.pdf

Chopra, S., & Meindl, P. (2008). Administración de la cadena de suministro. *Estrategia, Planeación Y Operación*, *3*.

Coelho, V. N., Grasas, A., Ramalhinho, H., Coelho, I. M., Souza, M. J. F., & Cruz, R. C. (2016). An ILS-based algorithm to solve a large-scale real heterogeneous fleet VRP with multi-trips and docking constraints. *European Journal of Operational Research*, *250*(2), 367–376. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.047

Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007a). Chapter 6 Vehicle Routing, *14*(6), 367–428. https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2

Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007b). Vehicle Routing, *14*(6), 367–428. https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2

Da Silveira, U. E. F., Benedito, M. P. L., & Dos Santos, A. G. (2016). Heuristic approaches to Double Vehicle Routing Problem with Multiple Stacks. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA*, *2016–June*, 231–236. https://doi.org/10.1109/ISDA.2015.7489230

Fajar, A., Abu, N. A., & Herman, N. S. (2009). Initial result of clustering strategy to euclidean TSP. *SoCPaR 2009 - Soft Computing and Pattern Recognition*, 13–18. https://doi.org/10.1109/SoCPaR.2009.16

García-sánchez, P., Sharman, K., Cid, E. A., Card, M., & Sharman, K. (n.d.). VRP y enfoques multi y monoobjetivo para el Problema de Transporte e ... Comparacion de heuristicas de resolucion del VRP y enfoques multi y monoobjetivo para el Problema de Transporte e Inventario, (November 2014).

Gomez, A., Priore, P., Lopez, J., & García, N. (2013). Heuristic analysis influence on the solution of the vehicle routing problem by means of an iterated local search. *Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013*, 2448–2453. https://doi.org/10.1109/SMC.2013.418

Gong, W. (2010). ABC-ACO for Perishable Food Vehicle Routing Problem with Time Windows, 1261–1264. https://doi.org/10.1109/ICCIS.2010.311

Gonzalez-L., E. C., Adarme-Jaimes, W., & Orjuela-Castro, J. A. (2015). Stochastic mathematical model for vehicle routing problem in collecting perishable products. *Dyna*, *82*(189), 199–206. https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48549

González, A. H., & Cabrera, Jorge Antonio Silvestre Acevedo Martínez, B. C. C. (2017). Red Internacional de Investigadores en Competitividad Memoria del III Congreso. *Red Internacional de Investigadores En Competitividad*, *4*(1), 2100–2119. Retrieved from http://riico.net/index.php/riico/issue/view/14

Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, *152*, 9–28. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.028

Handl, J. (2015). Interactive multi-objective vehicle routing via GA- based dynamic programming, 318–322.

Hartigan, J. A. (1975). Clustering Algorithms. *Information Retrieval Data Structures and Algorithms*, *2*, 419–442. https://doi.org/10.2307/2529577

Hegde, V. (2016). Student Residential Distance Calculation using Haversine Formulation and Visualization through GoogleMap for Admission Analysis.

Hsu, C.-I., Hung, S.-F., & Li, H.-C. (2007). Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery. *Journal of Food Engineering*, *80*(2), 465–475. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.029

Jordi Pau, i C., De Navascués, R., & Esteban, M. Y. (1998). *Manual de logística integral*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Karaman, S., & Frazzoli, E. (2008). Vehicle Routing Problem with Metric Temporal Logic Specifications. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 3953–3958. https://doi.org/10.1109/CDC.2008.4739366

Kirci, P. (2016). On the Performance of Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem

with Time Windows. *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, 351–354. https://doi.org/10.1109/W-FiCloud.2016.77

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, *59*(3), 345–358. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C

Li, J., & Zhang, J. (2014). A heuristic algorithm to VRP with the consideration of customers' service preference. *2014 11th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2014*, 141–146. https://doi.org/10.1109/FSKD.2014.6980822

Li, S., & Chen, L. H. (2010). Optimization of the VRP with single depot based on vehicle coordination strategy. In *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2010* (Vol. 2, pp. 862–865). https://doi.org/10.1109/ICICTA.2010.393

Markov, I., Varone, S., & Bierlaire, M. (2016). Integrating a heterogeneous fixed fleet and a flexible assignment of destination depots in the waste collection VRP with intermediate facilities. *Transportation Research Part B: Methodological*, *84*, 256–273. https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.12.004

Martí Cunquero, R. (2007). Algoritmos Heurísticos en Optimización CombinatoriaMartí Cunquero, R. (2007). Algoritmos Heurísticos en Optimización Combinatoria. Mdereg1-Fercarpetass.Googlecode. …, 1–27. Retrieved from http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduc. *Mdereg1-Fercarpetass.Googlecode. …*, 1–27. Retrieved from http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduction/Intro-by-Rafa Marti.pdf

Medina, L. B. R., Rotta, E. C. G. La, & Castro, J. A. O. (2011). Una Revisión al Estado del Arte del Problema de Ruteo de Vehículos: Evolución Histórica Y Métodos De Solución. *Ingeniería*, *16*(2), 35–55. Retrieved from http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/3832

Molina, J. C., Eguia, I., Racero, J., & Guerrero, F. (2014). Multi-objective Vehicle Routing Problem with Cost and Emission Functions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *160*(Cit), 254–263. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.137

Nazeer, K. (2009). Improving the Accuracy and Efficiency of the k-means Clustering Algorithm. *Proceedings of the World Congress on*, *I*(October 2016), 1–5. Retrieved from http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp308-312.pdf

Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. *Instituto de Computacion - Facultad de Ingenieria*. Retrieved from https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf

Oppen, J., & Løkketangen, A. (2008). A tabu search approach for the livestock collection problem. *Computers and Operations Research*, *35*(10), 3213–3229. https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.02.021

Oppen, J., Løkketangen, A., & Desrosiers, J. (2010). Solving a rich vehicle routing and inventory

problem using column generation. *Computers and Operations Research*, *37*(7), 1308–1317. https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.014

Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Food Engineering*, *85*(2), 285–295. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.008

Padberg, M., & Rinaldi, G. (1989). A branch-and-cut approach to a traveling salesman problem with side constraints. *Management Science*, *35*(11), 1393–1412.

Paola, D. (2008). IMPORTANCIA DE LA ADMINISTRACIÓN LOGÍSTICA ., (38), 217–222.

Penna, P. H. V., Subramanian, A., & Ochi, L. S. (2013). An Iterated Local Search heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Journal of Heuristics*, *19*(2), 201–232. https://doi.org/10.1007/s10732-011-9186-y

Pino, R., Lozano, J., Martínez, C., & Villanueva, V. (2011). Estado del arte para la resolución de enrutamiento de vehículos con restricciones de capacidad, 847–856.

Rodríguez, J. (2012). *Caracterización, Modelado y Determinación de las Rutas de la Flota en una Empresa de Rendering*. *La filosofía de la ciencia de Descartes*. https://doi.org/10.1016/j.rccar.2016.01.003

Ruiz, F. L. (2010). Nuevo algoritmo para obtener una solucion inicial básica factible en el problema de transporte, 1670–1679.

Setak, M., Habibi, M., Karimi, H., & Abedzadeh, M. (2015). A time-dependent vehicle routing problem in multigraph with FIFO property. *Journal of Manufacturing Systems*, *35*, 37–45. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.11.016

Sethanan, K., & Pitakaso, R. (2016). Original papers: Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.021

Shuxia, L. (n.d.). Study on Routing Optimization Problem of the Logistics Center Abstract- The route optimization A . The coordinates of logistics center and the demand point D . The time window constraint of the demand point The distance between logistics center and each d.

Song, B. D., & Ko, Y. D. (2016). A vehicle routing problem of both refrigerated- and general-type vehicles for perishable food products delivery. *Journal of Food Engineering*, *169*, 61–71. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.027

Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2001). A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods. *Journal of Food Engineering*, *50*(1), 1–9.

Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2002). Distribution of fresh meat. *Journal of Food Engineering*, *51*(1), 85–91. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00040-1

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. SIAM.

Wang, L., & Wei, L. (2016). Clustering analysis of dangerous goods transportation of logistics platform based on improved K-means algorithm. In *Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2016 13th International Conference on* (pp. 1–6). IEEE.

Xing, W., Shu-zhi, Z., Xing, W., & Hao, C. (2016). An Improved Savings Method for Vehicle Routing Problem, 1–4.

Ying, W., & Xi, C. (2010). Research on Vehicle Routing Problem of Cold Chain Logistics. *2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 329–334. https://doi.org/10.1109/MINES.2010.76

Zhang, Y., & Chen, X. D. (2014). An optimization model for the vehicle routing problem in multiproduct frozen food delivery. *Journal of Applied Research and Technology*, *12*(2), 239–250. https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)72340-5

Anexos

Anexo Nro 1. Matriz de distancias no simetrica.

	DEPOT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
DEPOT		15,641	13,842	14,272	14,486	25,265	14,996	17,474	24,47	6,128	8,15	12,717	15,294	11,178	17,906	13,59	1,107
P1	12,448		5,005	6,903	22,048	12,815	13,046	5,263	37,482	12,86	9,271	20,28	12,18	4,026	23,645	17,813	12,838
P2	11,209	6,161		3,031	18,227	17,871	7,591	1,904	36,01	11,171	7,047	16,77	7,984	6,238	21,308	13,118	11,599
P3	11,023	6,629	3,067		16,089	18,34	6,801	3,782	35,178	11,581	6,861	15,057	5,64	8,117	19,68	11,889	11,413
P4	13,422	21,305	16,964	14,676		32,398	12,572	18,45	17,964	9,742	14,323	2,16	15,856	18,311	5,087	7,731	13,812
P5	24,716	14,301	18,052	19,96	32,97		23,392	16,767	51,2	25,983	21,866	32,238	23,952	14,696	36,239	29,571	25,106
P6	10,916	12,431	8,092	5,802	12,57	24,142		9,004	28,534	9,502	6,669	10,846	4,364	13,333	14,205	7,39	11,305
P7	12,033	5,156	1,494	3,392	18,373	16,867	8,415		34,956	10,801	7,871	17,464	8,808	4,902	22,086	13,941	11,174
P8	25,128	36,898	33,623	30,656	18,884	52,781	28,553	33,859		24,979	30,752	19,397	31,836	34	16,16	24,081	23,634
P9	5,595	11,853	12,228	9,938	8,841	26,005	9,93	13,57	25,267		5,707	6,93	11,118	11,892	12,185	7,071	7,38
P10	4,714	9,216	7,888	7,213	12,378	21,642	7,206	7,84	29,181	4,719		10,979	8,394	8,899	15,906	10,266	5,104
P11	11,889	19,635	15,305	13,006	3,095	31,319	10,909	16,208	19,242	7,899	12,082		14,186	16,777	6,373	6,253	12,278
P12	10,942	10,14	6,788	4,72	15,369	21,85	2,869	6,915	31,508	11,416	6,696	14,016		11,041	18,639	9,368	11,332
P13	10,094	3,586	5,588	7,486	19,384	15,302	11,032	4,303	30,637	11,361	8,932	17,615	11,425		22,566	17,013	10,48
P14	18,578	24,524	20,196	17,895	4,713	36,209	16,862	21,097	16,229	12,925	16,786	6,322	19,075	22,936		9,034	19,969
P15	11,901	17,387	13,058	10,757	6,251	29,071	10,025	13,96	22,957	5,745	8,952	3,261	11,923	18,299	9,53		12,301
P16	2,483	14,535	13,749	13,165	14,123	45,436	14,3	16,367	24,121	5,934	8,823	12,363	14,187	12,072	17,464	13,291	
P17	18,906	26,445	22,782	19,816	8,043	38,13	17,712	23,018	15,803	14,193	18,707	8,556	20,996	23,799	4,546	13,057	19,296
P18	20,46	10,023	10,656	12,198	29,75	20,209	14,307	9,371	41,002	21,727	19,303	24,32	13,013	12,423	28,942	20,182	20,85
P19	12,294	9,086	11,995	13,931	25,424	11,935	16,864	13,628	40,618	17,474	14,763	23,471	17,257	7,353	28,845	22,544	12,684
P20	11,499	7,375	7,298	9,234	20,948	16,888	12,168	8,931	36,463	12,766	10,068	19,034	12,56	4,875	24,29	17,848	11,888
P21	5,736	15,02	14,234	13,651	18,143	44,501	14,785	15,846	34,096	10,295	9,309	16,549	14,673	12,558	21,738	18,132	6,126
P22	11,358	8,15	11,059	12,995	24,726	14,331	15,868	12,693	39,682	16,539	13,829	22,814	16,322	6,417	28,068	21,609	11,748
P23	17,73	7,293	10,363	12,922	27,019	15,605	14,331	9,078	38,272	18,997	16,573	25,251	19,065	9,693	30,44	22,219	18,119
P24	12,033	15,748	12,001	9,119	8,599	27,433	5,991	12,321	24,738	7,368	8,393	7,246	9,209	17,242	11,869	2,92	12,649
P25	10,985	14,957	10,617	8,327	10,015	26,074	4,703	11,53	25,892	6,449	7,332	8,468	6,601	15,858	11,661	5,055	11,601
P26	8,552	13,367	9,512	6,545	10,501	25,078	6,159	9,748	26,585	4,783	4,912	9,093	7,726	14,268	13,78	6,197	9,168
P27	10,048	10,106	6,132	4,04	14,647	22,38	3,696	6,679	30,238	10,151	5,802	13,393	3,332	11,571	17,923	9,922	10,438
P28	19,457	25,107	23,347	20,381	8,608	38,693	18,277	23,583	20,809	15,465	19,272	9,122	21,561	24,158	6,216	13,436	19,861
P29	15,9	21,55	19,79	16,824	3,109	35,137	14,72	20,026	15,997	11,908	15,715	4,033	18,004	20,601	3,127	9,879	16,29
P30	9,011	13,705	12,377	10,595	6,271	26,408	9,449	12,329	19,359	3,362	7,559	4,865	11,775	13,388	9,557	4,34	9,401
P31	7,417	12,042	8,38	5,413	12,482	23,753	5,405	8,615	28,093	6,292	3,777	11,129	6,593	12,943	15,816	7,657	7,807
P32	12,319	11,731	9,719	7,719	17,913	23,441	5,912	10,01	32,019	12,742	8,157	17,212	2,484	12,753	19,548	12,953	12,709
P33	12,966	24,736	23,408	21,95	19,826	44,277	21,942	23,36	13,587	13,021	18,59	18,057	24,29	21,838	21,618	18,264	11,472
P34	30,335	19,899	22,969	28,343	39,625	30,229	31,278	21,684	50,878	31,603	29,179	37,857	31,671	22,299	43,046	35,139	30,725
P35	7,217	6,701	5,373	7,666	16,325	19,43	8,389	5,325	27,598	6,337	3,029	14,577	8,688	6,402	19,107	11,092	7,607
P36	6,339	6,845	6,041	6,82	15,629	18,463	9,78	7,653	30,494	7,606	5,781	13,86	10,173	4,35	19,05	14,634	6,729
P37	5,232	16,249	14,456	14,886	13,367	27,869	15,609	16,931	20,396	5,195	10,538	11,455	15,907	13,782	16,725	12,048	3,873
P38	14,451	21,497	20,169	19,539	7,767	33,426	17,436	20,122	11,839	11,169	15,352	8,28	20,72	19,339	5,043	12,964	14,84
P39	32,227	38,075	36,305	33,339	21,566	51,652	31,235	36,541	12,814	27,723	32,23	22,079	34,519	37,116	16,527	26,763	32,617
P40	22,759	12,322	15,393	17,952	32,049	22,653	17,44	14,108	47,482	24,026	21,602	30,281	16,145	14,722	35,47	27,563	23,149
P41	9,214	21,022	18,438	18,889	12,364	32,212	19,592	19,647	14,265	9,301	14,877	12,043	19,89	18,125	13,078	14,401	9,604
P42	12,861	24,721	23,411	22,763	10,99	52,611	20,659	23,345	7,842	12,947	18,575	11,503	23,943	21,787	8,267	16,187	13,251
P43	22,209	28,046	26,287	23,32	11,547	41,634	21,216	26,522	21,592	17,705	22,211	12,061	24,5	27,097	9,155	16,745	22,598
P44	7,789	19,597	17,013	17,464	9,666	30,786	18,166	18,221	13,928	7,875	13,451	9,366	18,464	16,699	11,544	11,724	8,179
P45	11,222	23,03	21,459	20,876	11,482	34,219	21,599	21,654	11,204	11,309	16,884	11,16	21,897	20,132	11,55	13,518	11,612
P46	15,594	6,34	6,079	5,489	18,564	18,051	7,408	4,794	36,141	15,015	10,666	17,211	6,113	7,245	21,833	14,786	15,984
P47	22,232	11,795	14,865	20,197	31,521	20,005	23,174	13,58	42,774	23,499	21,075	29,753	23,567	14,195	34,168	27,035	22,621
P48	17,947	7,531	11,282	13,191	26,665	10,418	16,623	9,997	42,67	19,214	15,096	25,468	17,183	8,225	29,935	22,488	18,337
P49	15,538	8,692	7,96	7,624	21,101	20,377	7,667	7,146	37,24	16,409	11,495	19,748	5,629	9,597	25,364	14,36	15,928
P50	17,297	6,86	9,93	12,489	26,484	17,19	18,239	8,645	42,02	18,564	16,14	24,818	18,632	9,26	30,007	21,787	17,687

	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33
DEPOT	18,753	24,47	13,715	11,647	2,041	12,696	20,549	11,275	10,209	8,148	13,564	17,675	14,466	9,768	8,97	18,513	11,275
P1	24,805	8,744	8,806	6,926	13,609	8,108	6,547	16,119	14,649	12,689	9,182	23,726	20,517	14,116	11,873	11,455	24,175
P2	22,414	11,258	12,349	9,449	12,313	11,857	9,959	11,927	10,467	8,171	5,131	21,578	18,265	12,678	7,907	7,817	23,004
P3	20,518	10,198	14,228	11,328	12,057	13,633	9,635	10,373	8,725	6,765	3,257	19,44	16,231	13,153	5,949	6,189	22,334
P4	6,255	24,834	24,227	18,78	14,583	23,208	25,682	8,214	9,737	9,633	14,126	5,177	1,961	7,037	10,624	21,179	17,376
P5	37,399	19,51	13,264	14,78	25,877	14,454	15,59	27,643	25,995	24,035	20,527	36,321	33,112	26,711	23,219	22,801	44,604
P6	16,825	16,904	17,796	12,349	11,865	16,777	15,437	4,433	3,077	4,259	5,523	15,747	12,341	9,272	3,375	7,775	19,563
P7	23,246	10,253	11,295	8,113	11,943	10,653	8,954	12,669	11,291	8,995	5,909	22,168	18,959	12,309	8,601	8,595	22,366
P8	23,87	40,815	43,734	34,47	24,568	42,729	41,371	24,195	25,718	25,613	30,107	15,014	16,816	19,183	30,093	35,055	18,941
P9	13,279	20,136	17,806	12,361	8,163	16,788	19,25	6,077	6,432	5,708	9,389	12,202	8,993	3,455	6,527	14,337	12,262
P10	17,001	17,412	14,271	9,111	5,875	13,252	16,275	7,62	6,166	4,108	6,664	15,867	12,658	6,313	4,043	11,612	16,026
P11	7,533	23,214	22,694	17,247	13,049	21,675	22,64	6,551	8,075	7,97	12,456	6,454	3,245	4,796	8,963	19,516	15,643
P12	19,799	10,303	17,014	11,48	11,892	15,995	12,112	7,563	5,601	5,969	3,035	18,72	15,511	13,091	5,153	2,589	22,254
P13	23,661	10,671	8,163	4,951	11,251	9,378	8,561	15,367	13,907	11,855	8,904	22,583	19,374	13,796	11,596	11,178	21,397
P14	4,526	28,054	29,889	24,442	20,74	27,575	27,53	11,041	12,203	13,971	17,346	3,448	4,128	10,175	14,321	22,171	27,158
P15	10,625	20,967	22,751	17,305	13,062	21,733	20,392	3,451	5,365	6,833	10,208	9,547	6,338	2,991	7,184	15,334	16,424
P16	18,712	23,363	13,347	9,227	0,935	12,342	19,443	11,318	9,855	7,796	12,458	17,481	14,272	9,307	12,026	17,406	11,111
P17		29,975	29,883	24,436	20,066	28,864	29,451	13,354	15,038	14,773	19,266	1,707	8,345	11,377	16,242	26,319	26,732
P18	30,102		17,176	15,322	21,62	16,157	7,697	18,377	17,22	16,273	12,765	29,024	25,815	25,077	15,457	10,184	32,177
P19	30,005	16,47		5,064	13,453	2,599	12,55	20,893	19,503	17,444	15,433	28,926	25,712	20,846	17,18	20,476	22,983
P20	25,385	15,666	4,785		12,659	3,78	12,251	16,196	14,9	13,299	10,701	24,304	21,095	16,075	12,483	15,779	18,831
P21	22,898	23,849	15,122	10,988		14,103	20,202	16,481	15,091	13,032	12,944	21,819	18,605	13,645	12,512	17,892	16,425
P22	29,069	15,535	2,199	4,128	12,518		11,615	19,957	18,567	16,509	14,462	28,085	24,777	19,857	16,244	19,54	22,048
P23	31,6	6,556	12,251	12,592	18,89	11,553		20,589	18,957	16,997	13,489	30,521	27,307	22,347	16,181	12,862	29,447
P24	13,029	16,896	22,307	16,86	14,494	21,288	18,5		2,03	4,263	8,486	11,954	8,745	6,194	4,976	12,62	16,658
P25	14,449	19,142	19,849	14,402	12,372	18,83	17,273	2,05		3,203	7,109	13,104	10,586	7,006	3,617	10,012	17,118
P26	14,875	16,936	17,638	13,87	9,939	16,633	16,18	4,211	3,517		5,996	13,797	10,588	6,368	2,369	10,944	16,831
P27	19,175	12,346	15,374	10,575	11,209	14,355	13,112	8,115	6,659	4,699		17,943	14,734	11,566	3,741	6,551	21,198
P28	1,995	30,54	30,448	25,001	20,632	30,15	30,016	13,92	15,546	15,701	19,832		8,91	12,376	16,936	24,78	27,297
P29	4,295	26,982	27,611	22,164	17,074	25,498	26,459	10,362	11,98	11,779	16,274	3,216	0	8,819	13,379	21,223	26,926
P30	10,653	20,793	18,406	13,6	10,172	17,388	20,229	5,091	6,84	6,671	10,045	9,574	6,365	0	7,894	14,993	13,335
P31	16,912	15,611	16,767	11,96	8,578	15,288	15,048	6,005	4,615	2,557	4,864	15,833	12,624	8,197	0	9,812	18,119
P32	22,336	11,376	17,763	12,964	13,48	16,744	13,576	10,222	8,85	7,43	5,476	19,231	16,022	13,119	6,614	0	25,481
P33	21,55	32,625	23,762	22,308	12,406	22,757	29,209	17,518	17,866	17,6	22,561	20,471	20,121	14,889	17,931	27,509	0
P34	44,206	13,781	26,225	25,198	31,496	26,177	16,186	32,919	31,563	29,603	26,095	43,127	39,913	34,953	28,787	25,252	42,053
P35	20,202	13,618	11,369	6,596	7,738	10,393	13,778	10,201	8,811	6,753	6,958	19,124	16,642	8,015	6,52	11,906	17,773
P36	20,21	15,137	9,575	4,819	7,5	8,599	11,721	12,953	11,563	9,505	8,314	19,131	15,917	10,989	8,69	13,392	17,488
P37	17,821	25,084	16,096	11,976	6,392	15,091	21,153	10,846	10,45	8,855	14,178	16,742	13,533	8,551	11,09	19,126	7,39
P38	4,975	28,643	25,256	19,809	15,611	24,237	26,71	13,078	14,699	14,495	18,99	3,897	5,671	8,066	16,095	23,938	22,768
P39	13,533	43,497	43,032	37,585	33,388	42,013	42,973	26,877	28,4	28,294	32,789	18,027	21,868	24,982	29,765	37,737	31,755
P40	36,63	5,395	19,299	17,621	23,92	21,401	8,61	25,598	23,986	22,027	18,519	35,551	32,337	27,377	21,21	15,971	34,477
P41	16,961	28,911	20,078	15,958	10,374	19,073	25,496	13,797	14,152	13,886	18,16	11,932	12,666	10,405	14,218	23,109	9,005
P42	8,199	32,922	23,725	22,24	14,02	22,72	29,142	16,301	17,825	17,719	22,213	7,12	8,922	11,289	19,189	27,162	18,771
P43	6,72	33,479	33,387	27,94	23,369	32,368	32,955	16,859	18,382	18,276	22,771	8,008	11,85	14,963	19,747	27,719	30,236
P44	11,476	27,486	18,653	17,169	8,949	17,648	24,07	12,372	12,727	12,461	16,735	10,398	9,969	7,728	12,792	21,683	11,84
P45	11,482	30,919	22,086	20,602	12,382	21,081	27,503	14,269	16,16	15,894	20,168	10,403	11,784	9,523	16,225	25,116	15,273
P46	24,038	8,335	14,042	10,456	16,755	13,057	8,29	13,14	11,523	9,577	6,056	22,963	18,706	15,798	8,747	6,025	27,319
P47	35,328	10,539	16,001	17,094	23,392	15,953	5,06	24,771	23,459	21,499	17,991	34,25	31,041	26,849	20,683	17,261	33,949
P48	31,095	11,545	7,867	8,309	19,108	7,941	7,625	20,837	19,225	17,266	13,758	30,017	26,808	19,947	16,45	16,032	29,663
P49	25,531	6,027	16,428	12,808	16,693	15,215	9,537	11,756	10,4	11,715	8,194	24,757	21,243	16,618	10,885	5,265	28,007
P50	31,167	5,604	13,836	12,159	18,458	15,939	1,526	20,135	18,524	16,564	13,057	30,089	26,875	21,914	15,748	12,213	29,015

	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49	P50
DEPOT	31,686	13,946	8,204	4,59	14,766	25,67	24,555	10,459	13,577	26,86	8,804	11,272	18,117	25,178	20,779	19,844	20,394
P1	19,683	6,263	6,159	16,723	22,031	31,722	12,552	21,05	25,161	32,599	19,395	21,864	6,349	11,175	6,302	9,105	6,392
P2	23,096	4,825	8,671	15,484	21,438	28,915	14,494	20,503	24,592	29,793	18,848	21,316	5,444	14,588	11,359	8,713	9,804
P3	22,772	6,734	10,507	15,649	21,255	27,435	13,435	19,859	24,385	28,313	18,205	20,673	3,845	14,263	11,827	6,681	9,48
P4	38,818	17,668	15,197	12,33	6,992	13,172	28,122	10,214	10,122	14,049	7,467	8,531	17,761	30,31	25,911	19,572	25,527
P5	30,369	18,858	18,8	29,582	34,286	44,316	23,238	33,804	50,964	45,194	32,15	35,207	17,695	19,871	10,202	20,451	17,077
P6	28,342	8,795	11,957	14,192	17,562	24,93	18,36	16,679	20,692	25,808	15,024	17,492	8,337	20,583	17,629	11,102	15,282
P7	22,091	4,456	7,335	15,059	21,068	30,163	13,489	20,118	24,198	31,041	18,48	20,949	3,991	13,583	10,354	7,708	8,799
P8	54,508	39,079	38,137	19,959	11,117	18,188	47,377	13,78	7,893	14,62	13,989	10,654	34,501	46	41,601	37,204	41,216
P9	32,387	7,301	8,765	5,218	10,586	20,198	25,256	9,257	12,375	21,075	7,602	10,071	13,783	24,601	19,5	15,672	19,095
P10	29,985	4,665	8,33	9,082	14,993	23,862	20,699	14,037	17,154	24,796	12,382	14,85	11,058	21,477	15,432	12,947	16,12
P11	35,777	13,18	13,663	10,273	8,27	14,449	26,502	10,688	11,4	15,327	7,998	9,006	16,851	27,269	24,833	17,909	22,486
P12	25,248	8,371	11,073	15,573	20,536	26,716	15,266	19,694	23,666	27,593	18,04	20,508	4,897	17,444	15,338	5,781	11,957
P13	21,697	5,924	4,174	14,516	19,664	30,578	14,566	18,726	22,794	31,778	17,063	19,531	6,308	13,189	10,696	8,862	8,406
P14	40,667	20,887	21,354	17,962	5,257	11,443	31,342	14,194	8,387	12,321	11,937	11,069	21,74	32,158	29,722	25,719	27,375
P15	33,529	13,798	16,786	10,306	11,354	17,542	24,255	14,168	15,115	18,42	11,264	12,272	14,602	25,021	22,584	17,305	20,237
P16	32,579	12,839	8,958	4,236	14,411	25,477	25,448	10,105	13,222	26,354	8,45	10,918	17,01	24,071	19,672	18,738	19,288
P17	42,588	22,808	20,685	17,289	4,831	9,211	33,262	13,768	7,961	10,088	12,8	10,643	23,661	34,079	31,643	26,364	29,296
P18	15,324	16,295	14,551	25,325	30,03	37,019	5,424	29,548	33,181	37,897	27,893	30,95	8,166	12,606	12,027	5,487	7,542
P19	27,351	11,757	10,279	16,109	25,798	36,922	20,22	20,586	28,929	37,799	18,931	21,399	13,661	16,832	6,206	16,215	14,059
P20	25,387	7,06	5,582	11,956	21,069	32,299	18,256	20,082	24,199	33,177	18,427	20,895	11,183	16,879	10,365	13,737	12,096
P21	33,339	13,324	9,712	9,551	18,598	29,815	25,934	14,028	17,146	30,692	12,373	14,842	17,496	24,557	20,158	19,226	19,774
P22	26,415	10,822	9,343	15,173	24,863	35,986	19,284	23,862	27,993	36,864	22,208	24,676	12,725	15,896	9,614	15,279	13,123
P23	15,249	13,565	11,813	22,005	27,3	38,517	8,117	26,367	30,43	39,394	24,713	27,18	7,94	5,06	7,424	9,696	1,472
P24	31,891	13,305	16,342	11,125	13,77	19,949	21,638	13,404	16,896	20,823	11,75	14,684	11,427	23,382	20,946	15,946	18,599
P25	30,41	10,847	13,884	11,56	14,92	21,1	20,605	14,037	18,054	21,977	12,382	14,85	10,068	21,901	19,588	13,339	16,994
P26	29,317	9,728	12,332	9,367	15,613	21,792	20,224	13,436	18,743	22,67	11,781	14,589	10,39	20,809	18,373	12,53	16,025
P27	26,249	6,994	10,031	14,323	19,758	26,108	17,475	18,562	22,396	26,323	16,907	20,354	6,031	17,74	15,304	7,842	12,957
P28	43,153	20,555	21,044	17,854	5,396	7,995	33,828	14,333	8,526	8,873	15,579	11,208	23,493	34,644	32,208	25,277	29,861
P29	39,595	19,816	17,688	14,297	5,025	11,212	30,27	13,962	8,155	12,089	9,647	10,837	19,936	31,087	28,651	21,72	26,304
P30	33,901	9,154	13,081	7,938	8,386	17,569	24,081	10,21	11,517	18,313	7,861	9,119	14,44	25,393	19,921	16,694	20,609
P31	28,185	8,405	10,99	10,963	17,121	23,828	18,899	15,846	20,251	24,706	14,191	16,66	9,258	19,676	17,24	11,147	14,893
P32	20,385	9,41	12,446	16,481	21,046	27,226	16,857	22,357	24,176	28,104	20,702	21,907	7,896	18,914	18,337	5,573	13,454
P33	42,346	20,185	18,724	7,797	16,574	31,382	35,215	11,631	13,351	30,504	13,055	16,112	27,419	33,838	29,439	28,841	29,054
P34	0	26,171	24,426	34,61	39,906	51,123	7,971	39,424	43,036	52	37,769	40,826	20,546	18,113	22,047	16,873	16,031
P35	26,915	0	6,117	10,852	16,796	25,522	20,698	15,171	19,765	27,996	13,516	15,984	11,823	19,117	12,917	13,607	13,605
P36	24,858	4,176	0	10,614	15,909	27,126	17,727	14,981	19,039	28,004	13,327	15,795	10,658	16,349	11,95	13,212	11,566
P37	34,29	11,821	10,7	0	13,504	24,738	27,159	7,389	11,568	25,615	6,814	9,264	19,016	25,782	21,383	20,458	20,998
P38	39,847	16,946	16,225	12,374	0	11,892	32,716	9,633	3,997	12,77	8,784	6,708	22,624	31,339	26,94	24,436	26,555
P39	56,11	33,523	34,002	30,624	18,353	0	46,785	27,291	21,484	11,856	26,611	24,165	37,184	47,602	45,166	39,068	42,818
P40	8,473	18,594	16,85	27,034	32,329	43,546	0	31,847	35,46	44,424	30,193	33,25	11,299	10,536	14,471	11,139	8,455
P41	38,632	16,471	15,011	7,728	8,035	19,927	31,501	0	6,423	24,755	2,464	4,375	22,998	30,124	25,725	24,44	25,341
P42	42,279	20,17	18,657	11,355	3,224	15,116	35,148	5,886	0	15,993	6,095	2,761	26,608	33,77	29,371	28,087	28,987
P43	46,092	23,495	23,983	20,605	8,335	8,778	36,767	17,272	11,465	0	18,518	14,147	27,165	37,583	35,147	29,049	32,832
P44	37,207	15,046	13,585	6,302	6,501	18,393	30,076	2,977	6,086	19,137	0	3,781	21,572	28,699	24,3	23,015	23,915
P45	40,64	18,479	17,018	9,716	6,507	18,399	33,509	4,248	3,362	19,276	4,457	0	25,006	32,132	27,733	26,448	27,348
P46	21,427	8,77	9,678	19,869	23,73	30,959	11,571	24,689	27,909	31,836	23,035	24,537	0	13,629	11,538	3,528	8,169
P47	17,946	18,067	16,322	26,463	31,802	43,019	10,815	31,32	34,932	43,123	29,665	32,722	12,442	0	11,823	14,095	5,058
P48	22,351	12,088	12,038	22,222	27,539	38,012	15,22	26,538	30,669	38,889	24,883	28,438	10,925	11,906	0	13,682	9,059
P49	15,036	11,122	12,03	19,818	26,268	32,447	11,617	24,295	29,398	33,325	22,641	26,674	2,876	14,876	13,875	0	9,416
P50	13,75	13,132	11,388	22,162	26,867	38,084	6,619	25,888	29,997	38,962	24,233	26,701	7,507	5,058	9,009	9,047	0

Anexo Nro 2. Matriz de tiempos no simetrica.

	DEPOT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
DEPOT		57,1333333	46,3666667	37,8666667	62,9833333	92,5166667	48,1166667	50,65	63,8666667	34,9333333	37	58,8833333	43,6166667	49,3833333	69,2666667	56,8	11,2833333	67,7166667	73,7166667	71	50,35	12,4333333	66,5833333
P1	36,3333333		16,1666667	21,7	74,1	41,45	40,7833333	14,3833333	91,9	44,8833333	29,3166667	69,8833333	35,6833333	14,5	78,7833333	61,4166667	36,6333333	81,5333333	31,5666667	39,4833333	22,1666667	36,2166667	38,0833333
P2	37,1833333	17,4666667		9,38333333	66	53,4	30,7833333	5,5	91,5	41,7833333	22,3333333	65,0666667	25,7833333	17,9833333	75,9833333	53,2	37,8166667	74,1833333	33,9166667	51,3666667	26,2166667	38,9833333	48,05
P3	39,1166667	23,5166667	10,9166667		62,8	59,6666667	28,4666667	12,75	90,4833333	44,4333333	24,1333333	66,95	25,4166667	25,4833333	74,3	51,45	38,9666667	71,7666667	37,35	59,3	33,7166667	38,7333333	54,3666667
P4	39,6833333	63,2333333	50,05	40,6166667		98	40,75	53,0166667	45,3166667	31,8166667	38,5333333	12,8	46,9166667	56,8166667	15,9333333	25,55	40,4833333	18,6	78,7333333	83,7166667	59,3333333	39,7666667	78,7833333
P5	58,0333333	32,85	38,0666667	43,45	87,8666667		58,7833333	34,7666667	86,9833333	66,0166667	48,8666667	85,55	55,1833333	33,2333333	94,7166667	81,3666667	58,4	97,7	49,8833333	39,8666667	38,6	57,85	42,6166667
P6	40,9833333	46,4833333	34,3833333	24,7333333	58,1333333	80,8333333		38,2666667	87,2	43,3333333	26,4833333	54,9666667	17,0166667	50,4833333	62,8333333	41,3833333	41,9833333	63,5666667	49,7333333	79,1833333	55,3666667	40,9666667	74,8833333
P7	39,5333333	16,0666667	4,55	9,43333333	64,9833333	50,2833333	32,1666667		99,45	40,8833333	25,5666667	66,9333333	27,15	15,3166667	74,1166667	54,6666667	41,6833333	77,0166667	32,4833333	47,7333333	23,9666667	37,3166667	43,25
P8	64,6333333	94,4833333	88,35	77,2333333	57,2	77,2	79,6833333	89,5333333		63,1333333	72,1	58,8166667	82,7666667	87,4166667	53,65	70,1166667	63,0333333	53,2333333	113,983333	109,916667	90,0166667	65,0333333	105,783333
P9	21,5333333	44,75	35,35	25,4666667	35,1	79,1666667	31,9166667	37,8666667	56,6166667		14,7333333	30,85	32,3833333	39,0166667	41,8666667	31,7	22,3	43,8166667	61,7833333	65,45	41,8333333	20,6666667	60,2666667
P10	19,6166667	34,15	28,3833333	20,2666667	50,4	72,9666667	26,8333333	32,05	76,2833333	21,8		45,0666667	27,2666667	37,1166667	56,4333333	42,8166667	19,9166667	58,65	55,6333333	59,8166667	38,0833333	19,3833333	55,1333333
P11	36,35	58,2333333	45,5	37,0833333	11,8	94,0833333	35,7666667	49	46,9	26,45	33,8166667		43,4833333	54,7	16,9333333	22,0833333	37,2833333	19,75	70,55	82,6333333	57,5666667	36,65	77,1666667
P12	36,9666667	36,5	26,2833333	16,6333333	63,8833333	72,15	18,4666667	29,7333333	97	43,5833333	22,4666667	62,6		40,1166667	69,3666667	51,45	37,5666667	72	44,6	72,1666667	49,2666667	37,7666667	67,35
P13	30,05	9,51666667	12,7166667	17,55	65,55	48,4333333	34,15	9,46666667	87,9833333	40,2666667	24,5333333	61,7166667	28,8166667		71,15	60,3166667	29,5666667	73,3666667	32,85	40,0833333	13,95	28,8333333	33,05
P14	52,9666667	65,4833333	52,0333333	42,8166667	14,3333333	98,95	43,1666667	54,9166667	44,4666667	40,25	43,3333333	21,55	48,6833333	73,3333333		27,5833333	51,2666667	18,4666667	79,7166667	99,45	74,0666667	50,2166667	94,2833333
P15	44,65	55,5333333	42,4166667	33,6333333	22,2333333	90,5166667	32,4333333	45,8166667	59,8333333	29,3	31,05	21,5166667	36,7666667	57,1666667	28,75		45,2	31,25	67,65	89,7333333	64,8833333	44,7166667	84,9333333
P16	16,4166667	48,6833333	37,1666667	30,0333333	56,6833333	71,5333333	37,1833333	41,9333333	57,2166667	30,3666667	27,7666667	55,1	33,4833333	43,5833333	63,5	55,1333333		66,95	64,6	66,5833333	47,4666667	2,06666667	63,1
P17	49,2	67,1833333	55,4	45,2333333	21,0833333	100,733333	46,0833333	57,4833333	45,1666667	42,2	46,3666667	22,6666667	50,2666667	66,9833333	14,3	32,3666667	50,0166667		81,7333333	100,7	74,4	49,3	95,4333333
P18	50,45	26,85	35,0166667	35	81,1666667	56,1333333	44,7	31,9	103,183333	57,3833333	47,0166667	79,5166667	40,9	30,45	87,7166667	71,0666667	51,1	90,5833333		60,8333333	37,5333333	50,2833333	55,9333333
P19	39,5333333	35,6166667	29,4166667	33,25	76,2833333	39,1	47,7166667	32,1833333	94,1333333	49,85	39,5666667	67,5166667	42,3666667	26,6666667	82,3333333	70,8833333	40,9833333	85,2	54,15		17,2	41,4166667	10,3
P20	27,35	18,5333333	13,9166667	18,0166667	60,0333333	47,7	33,8833333	16,9166667	81,4333333	37,0333333	24,5833333	56,3333333	27	10,4666667	66,8	56,7166667	28,6833333	69,7	39,1166667	22,9333333		27,3333333	19,6333333
P21	21,9	48,2333333	36,5	30,35	59,7666667	70,3666667	36,4	40,05	72,35	37,7666667	26,5	58,0666667	33,4666667	43,2166667	68,55	59,7166667	23,3166667	71,5166667	63,7333333	64,5666667	43,9		59,6666667
P22	37,0666667	31,1333333	26,25	29,9333333	69,35	45,4333333	44,3833333	29,0666667	90,6666667	46,1	35,3333333	65,2166667	38,15	22,1833333	76,6166667	68,4	38,0333333	80,75	49,4333333	10,85	14,15	38,6166667	
P23	41,7833333	19,7666667	28,1333333	32,95	76,1666667	44,9	46,55	24,9833333	99,25	52,2	39,65	71,2333333	42,25	23,3666667	82,5833333	70,7166667	44,9666667	85,4166667	23,3	47,7666667	29,9333333	43,9166667	44,6833333
P24	53,6	61,5166667	46,8166667	39,3666667	38,8333333	96,3333333	24,8166667	50,7666667	73,5666667	33,9833333	38,7666667	35,75	25,75	62,25	43,7833333	24,9333333	51,65	46,45	68,4666667	91,9833333	64,6666667	52,4333333	86,4666667
P25	49,1833333	52,0166667	38,55	29,3666667	46,9666667	90,9	13,8666667	40,3333333	84,8833333	36,0166667	34,7166667	42,7333333	18,9666667	53,7666667	49,0333333	32,4333333	48,3	53,8166667	54,2	86,5333333	60,6333333	47,0333333	81,5
P26	40,1	47,6166667	35,7	25,6833333	41,2	81,6	24,9333333	36,85	77,6833333	29,0833333	25,7	39,55	27,3	49,5666667	48,8333333	32	40,2333333	51,3	59,2666667	81,5833333	57,3166667	39,4833333	77,55
P27	39,5333333	40,9	24,4166667	17,9	58,55	74,9333333	19,6166667	29,1	96,2833333	46,9833333	22,3333333	55,9	12,75	42,4166667	65,0666667	47,4	40,4	67,3833333	51,5666667	69,1	46,7833333	39,3833333	64,2
P28	42,5833333	61,7833333	52,65	43,2333333	14,5166667	97,2166667	40,3166667	53,2333333	40,2333333	32,35	42,25	15,7	43,2833333	62,6	12,4666667	27,7166667	43,1	8,51666667	79,9666667	93,0166667	65,35	42,4	86,9166667
P29	43,2833333	63,3166667	52,3	42,8666667	12,7666667	97,1666667	40,5	52,9666667	44,8333333	32,5333333	41,4666667	15,1666667	43,5333333	62,15	9,6	28,7166667	43,5833333	12,6333333	79,2666667	92,0666667	64,75	42,5333333	86,8666667
P30	29,6333333	44,9166667	38,9666667	31,5333333	22,7166667	85,5833333	33,35	41,7333333	58,1833333	11,5	22,6333333	19,3166667	33,4833333	47,4333333	29,9666667	20,6166667	30,1833333	32,2333333	65,5	71,1666667	48,4	29,0666667	66,3333333
P31	35,15	46,1	33,4333333	24,0333333	53,5833333	81,0666667	26,4833333	34,5	90,5666667	35,5833333	19,9666667	51,6333333	24,65	49,4	60,3833333	41,8166667	36,3166667	63,0333333	58,2	74,5	52,25	34,85	70,6333333
P32	43,25	41,5333333	28,6	22,1166667	60,0166667	77,0666667	15,5833333	31,5666667	95,75	45,5833333	26,0333333	57,8833333	9,06666667	49,45	63,8666667	46,1166667	42,9166667	68,7	40,3	74,2	50,6	42,0333333	68,8666667
P33	40,95	71,6166667	66,1333333	60,3	62,5333333	71,0833333	62,35	68,8	26,9666667	38,3833333	50,6	58,6666667	59,65	65,35	64,3333333	57,7666667	39,75	68,4166667	93,2833333	88,7333333	68,5333333	41,75	84,85
P34	56,35	36,65	45,7166667	49,35	85,4	68,1833333	62,25	42,5833333	107,416667	61,9833333	53,1166667	82,0166667	57,5166667	39,4	93,1666667	79,15	56,7166667	96,4666667	31,45	71,2333333	47,5333333	55,7333333	66
P35	25,3	26,9333333	21,1166667	21,6666667	57,95	67,7166667	26,1166667	24,2166667	85,0833333	27,2	11,2	55,4333333	20,1666667	29,2166667	64,9166667	45,7	25,9333333	67,75	53,3833333	52,5833333	31,3	24,1	48,8333333
P36	18,6333333	19,85	16,2	15,5	53,55	54,7	29,55	19,7833333	72,4166667	28,5166667	20,3833333	50,9166667	24,7666667	12,35	61,3333333	53,3333333	19,3666667	64,4666667	41,3666667	38,6333333	15,75	18,75	34,9833333
P37	16,05	51,85	40,4666667	37,2833333	45,6166667	86,2333333	42,15	44,6833333	39,7833333	18,7833333	30,8666667	42,1666667	35,7	45,05	52,7666667	44,7166667	16,1166667	54,7666667	71,6833333	65,7	46,0666667	17,4833333	61,95
P38	38,1	58,3166667	53,5	46,8333333	16,05	95,9333333	39,5833333	55,6166667	34,4166667	28,5333333	37,6833333	16,9833333	43,9666667	57,8666667	12,2	30,4833333	38,0333333	15,6666667	80,2833333	86,9833333	60,4333333	38,15	82,0333333
P39	63,2166667	80,75	73,9	63,95	39,2666667	115,433333	64,0666667	75,3166667	32,0666667	53,5	61,1166667	40,3333333	63,3666667	79,9833333	34,1166667	51,5166667	63,1166667	28,9	99,8166667	108,783333	82,6	62,9	103,7
P40	46,5666667	25,4166667	34,2833333	38,1333333	77,7	57,3833333	49	31,1333333	99,7333333	53,6666667	43,4166667	74,1166667	44,9166667	28,25	85,1666667	69,8333333	46,7166667	88,2	15,5833333	58,6666667	35,75	46,35	54,0833333
P41	26,6833333	58,2	50,3	45,1333333	33,4333333	93,0833333	50,55	55,4333333	42,2	25,5166667	38,8833333	32,15	44,6333333	53,4666667	38,9	39,9	27,3333333	44,1333333	81,25	75,6833333	55,3833333	27,7833333	71,1
P42	33,25	64,5833333	59,6666667	51,7833333	25,15	79,8666667	50,6	61,2	19,5166667	32	44,5666667	25,5166667	50,5333333	57,7333333	21,2	38,4833333	33,7666667	24,9666667	87,4666667	81,8	61,3333333	34,4666667	77,35
P43	53,8833333	70,8833333	63,8166667	53,75	28,1166667	107,3	53,8833333	64,4333333	49,1166667	43	51,35	28,4666667	53,2166667	70,9833333	25,85	41,15	54,0833333	27,55	90,0666667	99,2	73,7833333	53,8	94,0166667
P44	23,1333333	54,9	45,85	42,15	27,55	90,0166667	47,2833333	52,35	42,65	22,0166667	35,5333333	26,8666667	41,5833333	49,6333333	34,3666667	36,6	24,1166667	38,0833333	77,7	72,15	52,6166667	24,55	69,4666667
P45	28,7833333	59,8666667	52,9166667	47,9833333	30,9333333	93,5666667	52,1	57,2833333	28,6333333	27,1833333	39,95	29,8166667	46,65	54,6166667	31,25	39,6666667	29,6666667	35,0666667	82,6833333	79,05	57,1166667	30,45	74,8666667
P46	45,5833333	21,0666667	19,05	16,6	68,4166667	58,2833333	28,9333333	15,75	100,583333	50,9333333	32,5	65,7333333	25,6666667	26,9333333	75,05	51,5666667	46,1833333	75,05	30,5333333	55,8833333	36,3166667	45,7333333	55,1833333
P47	55,7166667	36	44,6333333	47,8666667	85,7833333	63,9	60,0666667	41,4	106,716667	61,9666667	53,4333333	82,6833333	55,8333333	38,5333333	96,3166667	79,55	55,8666667	99,25	38,65	66,75	46,1666667	55,5	63,2166667
P48	42,8	21,8333333	26,6833333	31,2166667	75,75	26,1833333	42,6666667	23,4833333	97,15	50,3166667	37,3166667	72,3833333	37,55	22,6666667	83,1833333	64,6833333	43,15	86,9	36,0166667	31,7166667	27,1166667	43	31,7333333
P49	47,9166667	31,05	25,6	23,3333333	70,2333333	67,3	27,4666667	25,25	102,666667	56,8	36,2666667	68,3333333	21,4333333	35,6166667	72,2	56,6333333	48,3833333	81	21,95	69,0666667	45,1166667	47,3166667	65,75
P50	36,7833333	16,45	24,3	28,6333333	67,3333333	49,0333333	39,1	21,35	89,6	42,8	34,1166667	65,0666667	36,2666667	18,8833333	75,8833333	61,0333333	37,4333333	79,8666667	18,5166667	49,5833333	26,8833333	36,7833333	46,1166667

	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49	P50
DEPOT	68,25	51,8333333	48,1166667	34,85	38,4333333	57,8833333	53,3166667	44,4666667	34,3666667	46,0166667	43,7666667	83,35	41,3666667	40,05	24,6333333	57,2333333	68,25	73,5166667	49,1833333	55,9166667	81,3333333	43,5166667	49,65	53,0833333	83,0166667	72,25	55,7	62,1666667
P1	23,5	53,65	47,9666667	36,8166667	25,55	73,9333333	68,95	55,2	33,3333333	31,9666667	78,05	41,4166667	20,4333333	19,9833333	57,1166667	71,0333333	83,6166667	32,1	72,1833333	80,1833333	93,2333333	64,0333333	72,5	20,1666667	41,25	27,2166667	27,7666667	20,8666667
P2	34,2833333	45,0166667	39,6666667	26,0666667	20,6666667	67,05	62,8833333	51,35	24,9666667	27,7	79,8833333	52,7	16,5666667	24,5666667	58,4166667	71,45	76,8	39,85	72,65	80,6333333	85,45	65,15	72,9833333	18,6666667	51,9333333	40,55	27,2333333	31,5
P3	36,9	43,3166667	37,6833333	26,45	12,7666667	63,8166667	59,2	53,4333333	22,5666667	25,6	78,35	55,6	22,9666667	31,2666667	60,15	70,7666667	74,35	43,1	74,5666667	79,15	83,25	67,1833333	74,8333333	21,1	54,35	45,8	27,4166667	33,95
P4	76,7833333	23,1333333	32,0666667	28,35	41,4333333	10,1666667	6,06666667	21,7166667	31,3	47,3833333	61,6333333	95,5166667	55	53,2833333	44,2166667	18,05	21,15	84,7	40,55	28,6166667	30,8666667	29,15	31,0833333	57,3666667	94,7333333	83,6	61,9166667	74,0166667
P5	39	70,05	65,65	55	44,3833333	89,7166667	85,4833333	72,6666667	51,85	50,7	85,35	60,8	40,4666667	41,9333333	79,9	89,0833333	99,9333333	51,3166667	94,05	94,5166667	105,633333	86,4666667	95,2833333	39,1833333	55,4	24,9166667	48,2166667	39,6333333
P6	62,0166667	26,6166667	14,1833333	19,6833333	24,0333333	55,9666667	52,7	46,1	17,4333333	16	84,9833333	78,2166667	40,3333333	51,4	61,4	63,7666667	67,8833333	65,9166667	71,05	72,6666667	76,4166667	63,7166667	71,0166667	33,7666667	76,9833333	69,3	28,8	58,9
P7	33,3333333	43,65	39,5333333	26,5666667	18,7666667	70,1666667	65,0166667	53,15	26,9833333	26,7833333	80,9	51,8666667	16,0166667	20,7833333	62,4666667	71,8166667	80,4166667	38,2	72,1833333	79,8833333	89,8166667	64,9833333	72,7333333	16,3833333	50,9166667	38,8666667	25,9166667	30,5666667
P8	106,683333	64,5666667	73,1166667	68,5166667	78,6666667	49,0833333	55,6666667	59,8	71,3833333	85,3166667	31,0333333	125,85	82,1333333	81,7333333	49,4	40,45	32,45	116,35	56,6166667	31,8166667	39,3333333	53,5833333	41,6666667	92,6666667	124,05	114,05	100,533333	103,783333
P9	60,3166667	20,7	24,8833333	14,9666667	26,4166667	36,05	31,5666667	17,5166667	17,3833333	33,9	45	78,6166667	30,9833333	35,9166667	22	35,7333333	46,8166667	69,3333333	33,7333333	40,9333333	54,6333333	26,1	34,4	42,8666667	76,95	67,5166667	47,7166667	57,0333333
P10	57,7166667	29,4833333	25,2333333	11,6333333	21,3666667	53,1166667	48,5	29,0666667	12,8333333	29,15	60,6666667	74,15	22,9333333	33,95	42,8333333	52,7166667	64,1833333	62,05	53,5	60,8	70,0333333	46,1166667	54,2333333	38,0166667	73,55	60,85	42,6666667	55,1
P11	72,85	17,9666667	27,75	23,0666667	38,4333333	11,5166667	7,11666667	16,8833333	27,1	41,8	64,7666667	91,3833333	49,0666667	50,85	42,3333333	19,3333333	22,65	77,4	41,7666667	30,25	31,6833333	31,8833333	31,6666667	54,0833333	90,2333333	81,25	57,8333333	69,7333333
P12	47,7333333	35,6666667	31,0333333	23,6666667	14,7166667	63,7333333	59,65	53,4	20,7833333	14,6166667	86,6	66,1166667	31,15	45,15	56,4666667	70,45	74,2333333	53,7833333	72,4833333	79,4166667	82,45	64,65	73,4333333	23	63,25	59,45	23,4333333	44,8
P13	25,7166667	46,2833333	41,1666667	29,4	22,0166667	65,6833333	61,2166667	49,2666667	29,9	29,0833333	79,3	43,8833333	15,4	11,1	48,5166667	63,9	75,75	34,1333333	65,1833333	72,6833333	84,3	57,7833333	66,3	18,05	43,05	34,4	25,9666667	21,9333333
P14	78,7666667	32,8833333	38,6	35,2	43,8166667	11,0666667	12,3	31,7166667	35,9166667	49,75	63,0833333	97,4166667	56,45	67,75	56,4666667	16,45	22,1	86,7333333	49,4333333	27,05	28,8	41,9333333	36,1166667	59,7166667	95,9666667	87,6666667	64,4666667	75,7833333
P15	68,9333333	19,8	27,9	25,1666667	34,15	24,1333333	18,5666667	21,2833333	25,8333333	39,45	64,0166667	87,5833333	46,5666667	62,9166667	51,8	33,5166667	35,25	74,3166667	57,1166667	43,3166667	41,1666667	47,0666667	47,1333333	49,5166667	85,5833333	77,7333333	57,2833333	65,3666667
P16	62,85	47,6833333	44,1833333	31,9333333	29,7833333	57,5333333	53,0166667	44,2166667	30,9333333	37,3333333	46,9666667	81,4	35,6333333	39,8833333	24,7166667	57,3833333	68,0666667	72,1166667	50,0333333	55,65	75,1833333	41,7666667	49,2	45,1666667	79,9166667	71,8666667	51,95	59,7166667
P17	80,5833333	29,8166667	38,75	35,15	46,0666667	9,75	19,65	30,2833333	38,85	52,15	63,8333333	99,3166667	59,3666667	63,5	55,15	16,4666667	18,9	88,7	49,7166667	27,5333333	26,35	41,4666667	36,2	60,0666667	97,6666667	88,9	67,75	77,5
P18	25,1833333	60,05	54,5166667	44,7666667	34,6833333	82,8333333	78,1833333	68,2166667	42,6	32,2166667	91,65	31,5833333	37,0666667	35,6166667	72,3333333	80,5666667	92,8666667	18,3	86,4833333	87,7333333	98,1666667	79,1333333	86,7	26,85	37,9166667	40,8666667	19,5166667	22,25
P19	44,0666667	59,2	56,5833333	44,2333333	37,2333333	77,5833333	74,1	60,25	42	45,1	80,2833333	65,2666667	29,6666667	27,4666667	60,3	72,2833333	87,9666667	56,2	75,6833333	81,8833333	94,5666667	67,8	76,0166667	43,7333333	61,3666667	35,3666667	52,65	43,6666667
P20	30,45	44,6166667	45,5333333	29,7666667	21,7166667	61,6666667	57,0166667	48,1166667	27,6833333	30,9666667	69,9166667	49,0666667	14,05	11,9166667	49,4	61,1166667	72,0166667	40,05	63,0166667	71,15	79,55	54,9666667	62,0166667	28,3	47,8666667	37,6666667	36,8	27,6666667
P21	60,3333333	46,8833333	45,8	30,85	29,7333333	63,9333333	60,3	49,2833333	31,1	37,6333333	62,2333333	79,35	35,0333333	37,3666667	42,3333333	61,75	74,15	72,8166667	58,4	64,2833333	81,1	50,3333333	58,2	46,0666667	80,3166667	71,6666667	50,2833333	60,05
P22	39,4833333	55,4666667	52,9833333	39,9833333	33,4833333	70,9333333	69,2166667	56,3	39,0333333	41,9	79,0333333	61,3166667	26,7166667	24,6333333	57,6	68,7	82,65	52,3166667	71,2166667	78,2833333	90,3333333	63,0833333	71,1333333	39,0666667	56,1	37,55	47,9333333	39,6333333
P23		58,25	55,3166667	42,7	32,15	76,65	72,9833333	61,9833333	40,7	39,3333333	81,9666667	31	29,2166667	27,5833333	61,15	73,45	85,5166667	21,7	73,7833333	83	91,7	65,8833333	74,7	26,45	19,8333333	29,6666667	32	7,5
P24	70,0666667		13,0666667	21,3	34,5333333	36,7666667	32,4	33,7666667	25,3166667	28,15	66,9666667	93,8	48,1833333	63,85	53,8	43,3333333	46,7833333	79,8166667	60,3333333	56,3166667	56,55	53,2	58,4333333	45,6166667	91,9666667	83,6833333	41,4333333	71,6333333
P25	63,2666667	13,5		15,9166667	26,3833333	51,8333333	46,15	44,0333333	18,6166667	19,7666667	73,95	82,2166667	41,9166667	57,8833333	62,1166667	58,3833333	62,2	70,45	65,7666667	66,8666667	69,35	59,65	67,8666667	39,0833333	80,45	77,75	33,0666667	60,6
P26	60,7666667	20,6166667	20,3666667		23,5833333	43,6166667	39,2	31,8833333	11,1666667	31,5666667	66,0833333	79,8333333	34,9166667	53,8833333	50,9833333	50,2	53,7666667	66,3833333	57,5	59,6166667	62,6333333	50,3	58,7333333	41,5	77,9833333	70,55	47,1333333	58,6333333
P27	53,95	34,6833333	29,95	19,05		60,1833333	55,9	48,0166667	17,0666667	16,9666667	83,6	72,9833333	25,7333333	43,3	64,0333333	67,45	70,1	58,6666667	71,7333333	80,6833333	81,9166667	64,3	74,6833333	27,0166667	70,45	62,95	32,2166667	50,5166667
P28	78,5833333	23,3166667	33,15	29,2166667	40,0833333		13,65	22,3166667	32,8833333	46,7666667	61,5333333	97,8333333	50,4	58,6166667	51,8	10,3	10,6	87,0833333	46,8666667	23,9166667	19,5666667	37,0666667	32,4666667	56	95,85	86,2666667	61,5	76,05
P29	77,2666667	23,3333333	33,3333333	27,8166667	39,2833333	5,18333333	0	22,4666667	32,7833333	47,0833333	62,9	96,4166667	51,6666667	58,9166667	51,5666667	12,35	16,1166667	85,95	48,5	25,6333333	24,85	35,9333333	34,1666667	55,35	94,5833333	85,8333333	60,9833333	74,2333333
P30	66,75	15,7666667	27,9333333	19,25	29,8166667	25,35	20,25	0	23,8166667	37,7166667	47,8	85,2	32,9833333	44,85	34,1	28,2333333	35,85	72,8666667	39,35	38,8333333	44,75	31,7666667	32,8	47,6	83,55	71,3833333	52,75	63,45
P31	58,9333333	27,6833333	25,15	10,4666667	20,15	54,7833333	50,95	42,5333333	0	28,4833333	71,75	78,0833333	35,45	50,2333333	53,5166667	64,3166667	66,3333333	65,05	68,7833333	73,9166667	74,1333333	60	70,6	39,75	76,0166667	69,0666667	43	56,8166667
P32	50,3	27,1	20,35	22,1166667	14,2166667	63,7333333	59,7666667	51,05	21,45	0	86,2833333	63,3833333	32,0333333	48,6166667	66,95	70,1166667	73,5833333	57,2833333	78,0666667	79,0666667	82,0833333	70,7833333	78,55	27	67,9166667	66	19,6333333	47,9333333
P33	85,0666667	49,8333333	56,1833333	48,7333333	55,7833333	60,55	60,0833333	49,4833333	52,3166667	63,2	0	104,2	59,35	62,1	26,5833333	52,0166667	57,95	94,5166667	45	43,5333333	62,9833333	45,1833333	52,6	72,8	102,133333	92,9166667	77,35	82,05
P34	32,7166667	71,95	64,6	56,0333333	47,8	88,1833333	84,4666667	73,5833333	54,8	56,4666667	96,1333333	0	44,6	43,5333333	76,4	85,6333333	98,2666667	16,5666667	91,3666667	93,8166667	101,833333	84,45	92,45	42,7333333	43,6	51,55	43,7	29,85
P35	49,3333333	34,1	29,35	16,5833333	15,9666667	59,6833333	57,4333333	38,6666667	18,6666667	24,3	64,6333333	67,9333333	0	27,25	44,85	60,4833333	68,8833333	59,45	60,15	68,8833333	78,2666667	52,7	61,35	34,45	66,8666667	54,8333333	39,7	48,6
P36	32,7833333	41,4666667	36,55	25,4166667	18,5333333	55,75	53,2333333	40,3333333	27	28,6333333	58,85	51,2666667	12,3666667	0	39,2833333	54,5833333	66,4166667	42,0166667	56,3	64,8666667	74,95	48,6	57,8666667	29,4	50,05	43,2833333	38	30,0833333
P37	65,3833333	34,4333333	39,8166667	27,7	32,1666667	46,9666667	42,8166667	32,95	34,6833333	39,8833333	25,7333333	84,25	37,9666667	39,9166667	0	45,1833333	56,9666667	75,0666667	33,2166667	45,3	66,3666667	29,7	38,0166667	50,3833333	82,7333333	73,1166667	55,8166667	62,45
P38	77,5333333	24,3666667	34,45	27,7666667	40,75	7,51666667	14,6166667	17,6166667	32,95	47,7666667	53,1333333	96,0666667	45,95	53,5833333	37,7833333	0	17,95	86,5	34,5333333	15,3333333	28,3666667	26,3833333	19,8	56,6166667	93,9666667	83,45	61,45	73,6
P39	98,4333333	46,95	57,0833333	50,5	59,8	33,3333333	38,65	46,0666667	54,6333333	66,8833333	63,9666667	117,266667	68,8166667	76,8166667	72,85	35,25	0	105,416667	69,3333333	46,8833333	20,9	59,7166667	55,5166667	77,9833333	114,883333	106,333333	79,9666667	94,3833333
P40	21,4333333	59,6666667	54,5166667	44,0666667	36,1833333	79,9666667	76,4666667	65,0833333	43,25	41,65	86,7166667	19,4333333	34,1166667	32,9333333	67,9166667	77,3166667	90,15	0	84,3666667	86,6833333	96,1833333	76,95	83,45	31,1166667	32,2	39,4833333	31,7833333	18,55
P41	73,2666667	36,9833333	44,5	35,1666667	41,5666667	34,4833333	32,15	25,2166667	38,9	48,9666667	32,8333333	91,9833333	46,1166667	50,3166667	26,3833333	26,05	45,0166667	82,7666667	0	23,8666667	56,15	13,0166667	15,3	59,8	90,4333333	80,6833333	62,7	70
P42	78,05	32,7833333	44,2333333	36,5166667	47,4666667	16,7166667	23,1	26,35	41,0666667	54,4666667	38,3333333	96,8666667	52,7833333	55,7833333	33,2166667	8,5	27,2833333	87,5333333	22,9333333	0	36,5333333	19,9	9,18333333	66,8666667	95,1166667	86,3166667	68,4833333	74,6666667
P43	88,95	35,7166667	46,9833333	39,35	50,3	21,3	26,6333333	35,55	44,0666667	56,7833333	71,75	108,166667	59,5	68,5166667	62,1166667	23,3333333	19,5666667	97,2166667	57,45	35,5333333	0	49,6333333	44,0333333	69,25	106,15	98,5	70,6333333	85,1666667
P44	69,9333333	33,5333333	40,7166667	31,6333333	38,4333333	29,85	26,1166667	19,4833333	35,3166667	45,65	36,25	88,7666667	44,1	47,0666667	23,0166667	22,1666667	40,8666667	79,7	14,15	24,3833333	48,7833333	0	17,1333333	57,55	86,7666667	76,9666667	61,3833333	67,05
P45	74,7833333	36,3	46,0333333	37,2666667	43,6666667	26,65	29,6333333	22,8166667	40,65	50,8833333	40,85	93,2333333	48,3	51,8166667	28,7666667	18,1333333	37,0166667	84,2	18,2666667	10,2333333	45,7333333	15,2333333	0	63,0666667	91,2833333	81,6166667	63,9166667	71,25
P46	30,65	40,3166667	34,6166667	24,4833333	14,6	67,1666667	65,4	53,9166667	24,1166667	20,85	87,0833333	49,25	26,6	32,4166667	67,75	77,2666667	77,3333333	37,4	82,1666667	82,9	83,1	74,8333333	81,8833333	0	48,1833333	45	16,1333333	28,25
P47	20,0833333	70,8833333	64,2833333	54,3666667	47	91,0333333	86,25	73,2166667	53,5333333	55,9666667	94,5	41,75	43,9166667	44,3	77,75	86,3666667	100,666667	32,9166667	92,9333333	94,4	104,066667	85,5166667	93,2333333	41,75	0	45,3166667	49,1	20,9833333
P48	25,9333333	54,9333333	48,0666667	38,5	29	78,5	73,8	58,2	37,6166667	39,8333333	82,7666667	47,8666667	27,1333333	29,2666667	64,5833333	74,65	88,5833333	38,8333333	76,05	83,5666667	93,8	69,0833333	82,15	27,75	42,7833333	0	37,15	26,5833333
P49	34,8	46,75	37,8	30,7333333	22,3166667	71,9	68,1666667	61,2333333	30,7	15	90,1833333	44,95	34,0833333	41,3833333	75,0666667	79,85	82,4833333	37,3833333	88,2666667	88,1333333	87,9166667	81,2333333	90,05	10,9833333	52,25	48,8666667	0	32,35
P50	7,45	50,8833333	45,65	35,5833333	26,4666667	71,5166667	67,3333333	55,7833333	33,7666667	35,55	76,5833333	24,3666667	24,45	23,2166667	58,4666667	68,85	81,3333333	15,45	68,7166667	77,0666667	86,75	61,4166667	70,6333333	22,9333333	21,2166667	30,75	28,1666667	0

Anexo 3, 4 y 5. Informes de la solucion inicial y fase de mejoramiento iterativo están disponibles en el CD adjunto.

Anexo Nro 3. Informes Clarke And wrigth

INFORME RESULTADOS SOLUCION INICIAL , ALGORITMO : CLARK AND WRIGTH

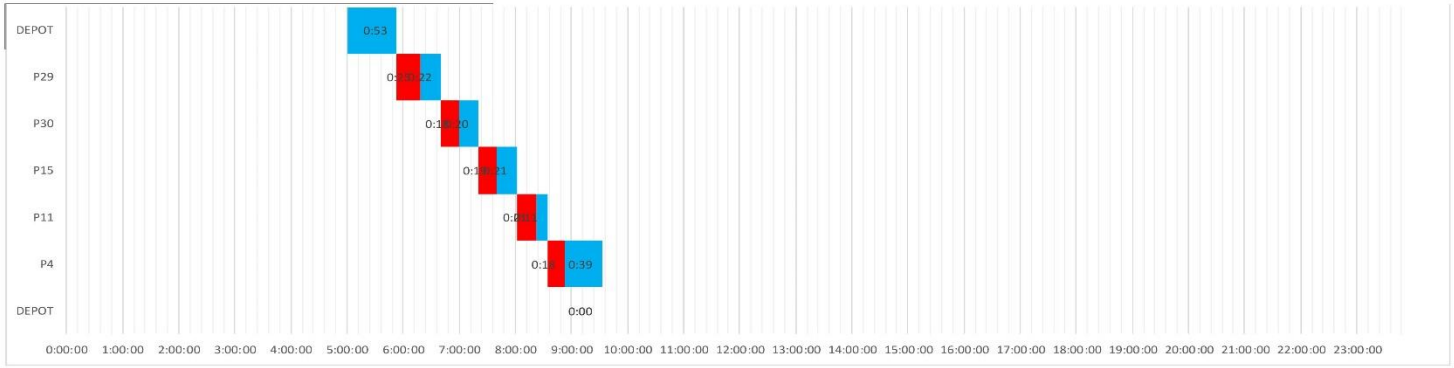
TOTAL RUTAS	TOTAL CLIENTES	COSTO TOTAL
9	50	432140,6332

RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C1	ABC001	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P33	P16	P21	P10	P37	DEPOT
COSTO		3504,721	3565,95648	290,6354	2893,60956	2823,04888	1626,31488
DURACION		0:43:46	1:03:25	0:23:04	0:49:50	1:01:50	0:35:23
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:43:46	6:47:11	7:10:15	8:00:05	9:01:55	9:37:18
TIEMPO DE ESPERA							

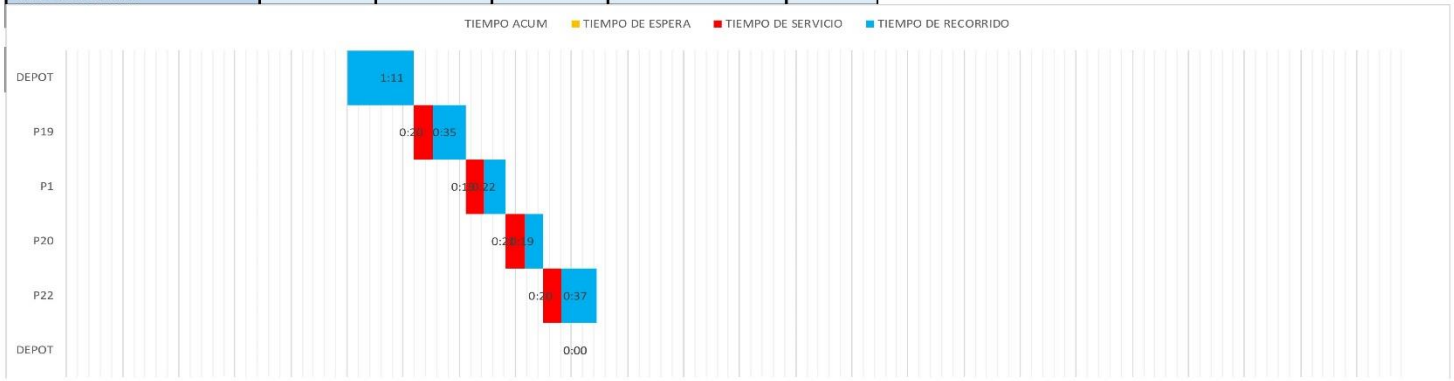


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C2	ABC002	INDEPENDIENTES	NHR	MITSUBISHI	180		
RUTA	DEPOT	P29	P30	P15	P11	P4	DEPOT
COSTO		4496,61144	2741,29796	1349,0456	1013,64924	962,0498	4172,09448
DURACION		0:53:19	0:47:28	0:39:17	0:41:11	0:32:48	0:58:21
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:53:19	6:40:47	7:20:04	8:01:15	8:34:03	9:32:24
TIEMPO DE ESPERA							





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	
C3	ABC003	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	
RUTA	DEPOT	P19	P1	P20	P22	DEPOT
COSTO		4263,1706	2824,29224	2152,87784	1174,9752	3530,52072
DURACION		1:11:00	0:56:17	0:41:50	0:40:38	0:57:04
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:11:00	7:07:17	7:49:07	8:29:45	9:26:49
TIEMPO DE ESPERA						

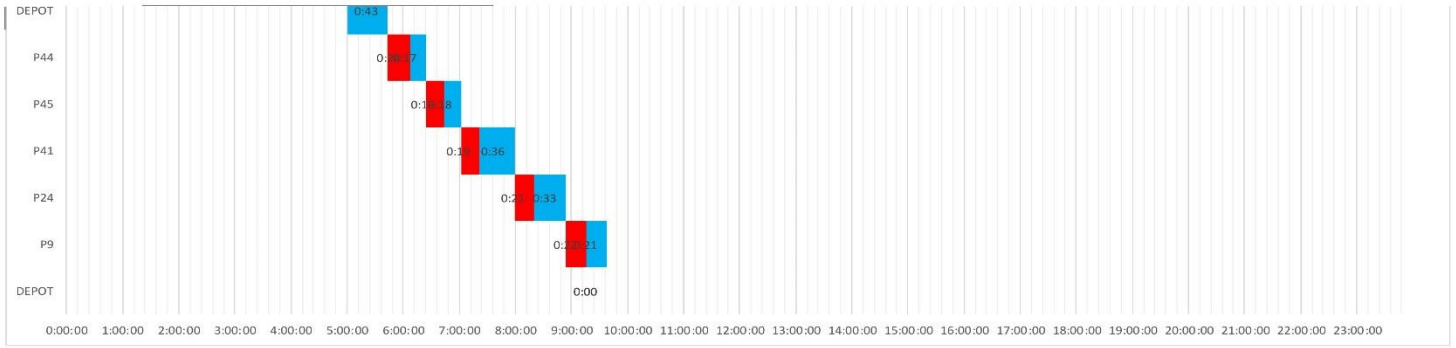


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	
C4	ABC004	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	
RUTA	DEPOT	P26	P6	P25	P31	DEPOT
COSTO		2532,72432	1914,46356	956,45468	1124,30828	2305,50028
DURACION		0:34:51	0:49:36	0:36:11	0:40:17	0:59:09
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:34:51	6:24:27	7:00:38	7:40:55	8:40:04
TIEMPO DE ESPERA						



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C5	ABC005	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P44	P45	P41	P24	P9	DEPOT
COSTO		2736,63536	1175,28604	1320,44832	4288,65948	2290,26912	1739,1498
DURACION		0:43:31	0:41:08	0:37:36	0:56:39	0:55:19	0:43:32
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:43:31	6:24:39	7:02:15	7:58:54	8:54:13	9:37:45
TIEMPO DE ESPERA							





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)					
C6	ABC006	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310					
RUTA	DEPOT	P17	P14	P43	P39	P8	P42	P38	P28	DEPOT
COSTO		7669,977	1859,314	5039,289	3590,202	5240,926	3228,237	1318,616	1593,873	7957,913
DURACION		1:07:43	0:34:18	0:53:28	0:40:14	0:54:24	0:55:09	0:32:50	0:31:51	1:04:35
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:07:43	6:42:01	7:35:29	8:15:43	9:10:07	10:05:16	10:38:06	11:09:57	12:14:32
TIEMPO DE ESPERA										

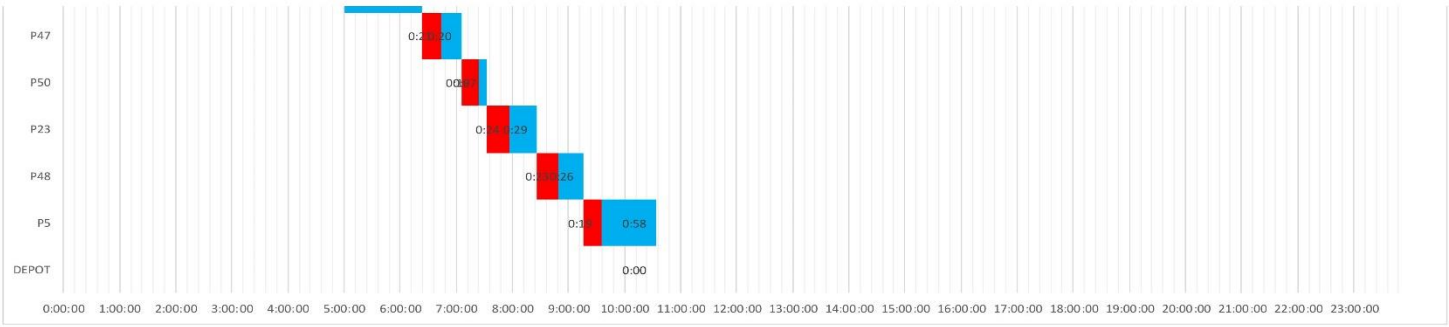


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)				
C7	ABC007	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310				
RUTA	DEPOT	P34	P12	P32	P49	P18	P40	P46	DEPOT
COSTO		12959,574	12953,439	1058,901	2279,357	2465,043	2218,416	4621,291	6377,946
DURACION		1:23:21	1:21:51	0:36:17	0:43:38	0:42:57	0:42:18	0:54:47	1:09:15
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:23:21	7:45:12	8:21:29	9:05:07	9:48:04	10:30:22	11:25:09	12:34:24
TIEMPO DE ESPERA									



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C8	ABC008	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P47	P50	P23	P48	P5	DEPOT
COSTO		7826,32952	1572,22872	474,34184	2307,67616	3238,33112	7682,72144
DURACION		1:23:01	0:42:19	0:26:47	0:54:00	0:49:31	1:17:42
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:23:01	7:05:20	7:32:07	8:26:07	9:15:38	10:33:20
TIEMPO DE ESPERA							





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)				
C9	ABC009	INDEPENDIENTES	NKR II	CHEVROLET	250				
RUTA	DEPOT	P27	P3	P7	P2	P35	P13	P36	DEPOT
COSTO		4391,910167	1308,118333	1224,580083	483,74475	1562,29479	2072,91425	1351,50642	2052,51538
DURACION		0:38:26	0:38:34	0:37:05	0:25:33	0:37:34	0:47:53	0:35:26	0:41:18
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:38:26	6:17:00	6:54:05	7:19:38	7:57:12	8:45:05	9:20:31	10:01:49
TIEMPO DE ESPERA									



Anexo Nro 4. Informe Vecino Mas cercano

INFORME RESULTADOS SOLUCION INICIAL , ALGORITMO : VECINO MAS CERCANO

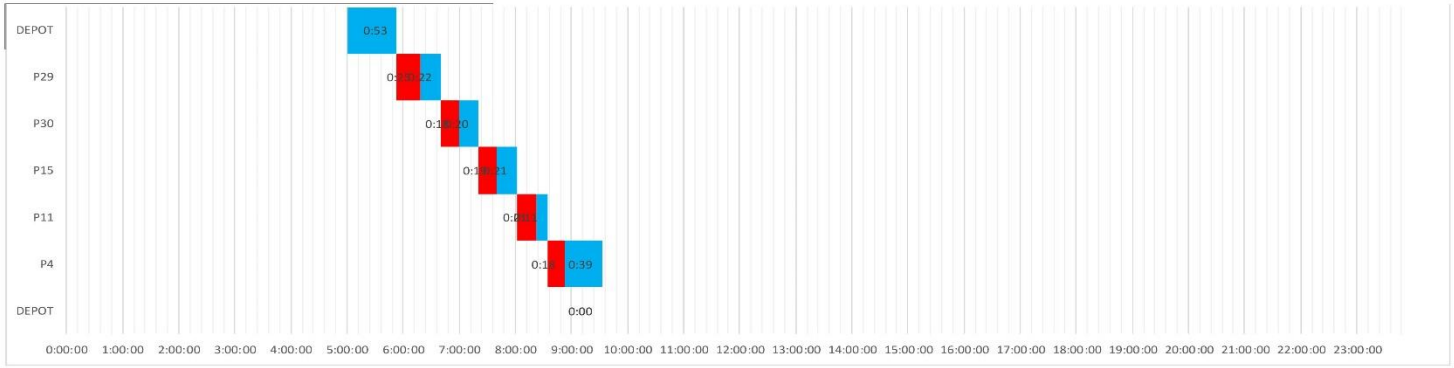
TOTAL RUTAS	TOTAL CLIENTES	COSTO TOTAL
9	50	437477,2729

RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C1	ABC001	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P33	P16	P21	P10	P37	DEPOT
COSTO		3504,721	3565,95648	290,6354	2893,60956	2823,04888	1626,31488
DURACION		0:43:46	1:03:25	0:23:04	0:49:50	1:01:50	0:35:23
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:43:46	6:47:11	7:10:15	8:00:05	9:01:55	9:37:18
TIEMPO DE ESPERA							

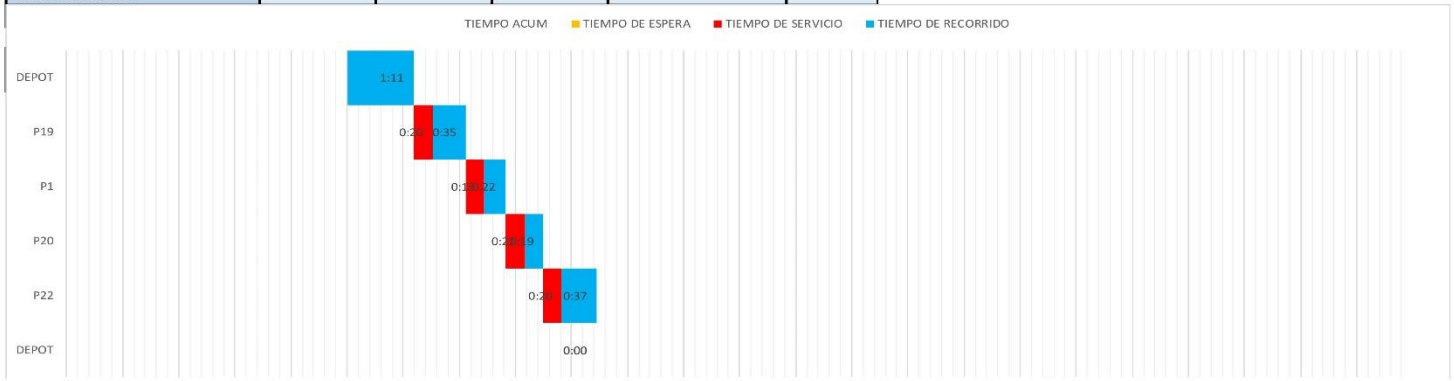


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C2	ABC002	INDEPENDIENTES	NHR	MITSUBISHI	180		
RUTA	DEPOT	P29	P30	P15	P11	P4	DEPOT
COSTO		4496,61144	2741,29796	1349,0456	1013,64924	962,0498	4172,09448
DURACION		0:53:19	0:47:28	0:39:17	0:41:11	0:32:48	0:58:21
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:53:19	6:40:47	7:20:04	8:01:15	8:34:03	9:32:24
TIEMPO DE ESPERA							





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	
C3	ABC003	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	
RUTA	DEPOT	P19	P1	P20	P22	DEPOT
COSTO		4263,1706	2824,29224	2152,87784	1174,9752	3530,52072
DURACION		1:11:00	0:56:17	0:41:50	0:40:38	0:57:04
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:11:00	7:07:17	7:49:07	8:29:45	9:26:49
TIEMPO DE ESPERA						

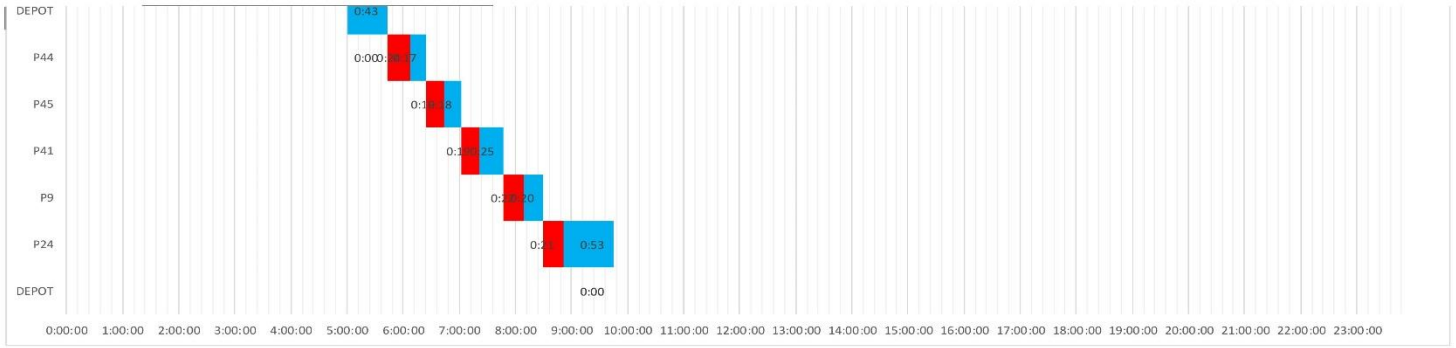


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	
C4	ABC004	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	
RUTA	DEPOT	P26	P6	P25	P31	DEPOT
COSTO		2532,72432	1914,46356	956,45468	1124,30828	2305,50028
DURACION		0:34:51	0:49:36	0:36:11	0:40:17	0:59:09
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:34:51	6:24:27	7:00:38	7:40:55	8:40:04
TIEMPO DE ESPERA						



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C5	ABC005	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P44	P45	P41	P9	P24	DEPOT
COSTO		2736,63536	1175,28604	1320,44832	2891,12284	1888,97468	3740,33772
DURACION		0:43:31	0:41:08	0:37:36	0:45:11	0:42:42	1:14:56
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:43:31	6:24:39	7:02:15	7:47:26	8:30:08	9:45:04
TIEMPO DE ESPERA		0:00:00					





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)					
C6	ABC006	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310					
RUTA	DEPOT	P17	P14	P28	P38	P42	P8	P43	P39	DEPOT
COSTO		7669,977	1859,314	1410,232	2206,964	1634,773	3207,378	5979,58	3590,202	13180,843
DURACION		1:07:43	0:34:18	0:35:44	0:32:18	0:39:40	0:43:51	1:02:40	0:40:14	1:25:33
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:07:43	6:42:01	7:17:45	7:50:03	8:29:43	9:13:34	10:16:14	10:56:28	12:22:01
TIEMPO DE ESPERA										

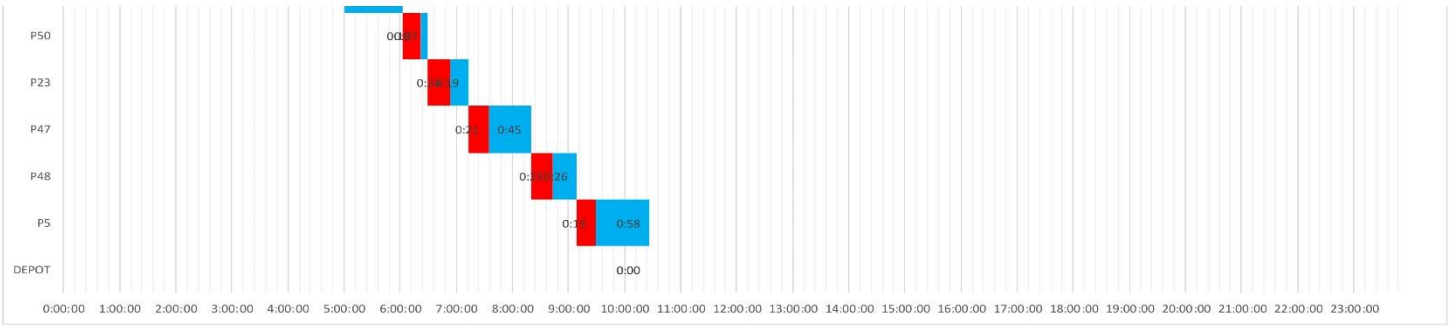


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)				
C7	ABC007	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310				
RUTA	DEPOT	P34	P12	P32	P49	P46	P18	P40	DEPOT
COSTO		12959,574	12953,439	1058,901	2279,357	1176,284	3409,015	2218,416	9308,431
DURACION		1:23:21	1:21:51	0:36:17	0:43:38	0:31:59	0:54:12	0:42:18	1:10:14
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:23:21	7:45:12	8:21:29	9:05:07	9:37:06	10:31:18	11:13:36	12:23:50
TIEMPO DE ESPERA									



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)		
C8	ABC008	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180		
RUTA	DEPOT	P50	P23	P47	P48	P5	DEPOT
COSTO		6339,27096	474,34184	1572,8504	3675,06132	3238,33112	7682,72144
DURACION		1:02:10	0:26:47	0:44:10	1:06:39	0:49:31	1:17:42
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	6:02:10	6:28:57	7:13:07	8:19:46	9:09:17	10:26:59
TIEMPO DE ESPERA							





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)				
C9	ABC009	INDEPENDIENTES	NKR II	CHEVROLET	250				
RUTA	DEPOT	P27	P3	P2	P7	P35	P36	P13	DEPOT
COSTO		4391,910167	1308,118333	993,0690417	616,4993333	1442,81567	1980,63363	1408,49375	3268,35308
DURACION		0:38:26	0:38:34	0:35:15	0:26:30	0:37:01	0:45:55	0:35:01	0:54:23
TIEMPO DE ARRIBO	5:00:00	5:38:26	6:17:00	6:52:15	7:18:45	7:55:46	8:41:41	9:16:42	10:11:05
TIEMPO DE ESPERA									



Anexo Nro 5. Informe Final

INFORME RESULTADOS PLANEACION LOGISTICA (CLUSTER-SI-BUSQUEDA TABU)

TOTAL RUTAS	TOTAL CLIENTES	COSTO TOTAL
9	50	387508,5378

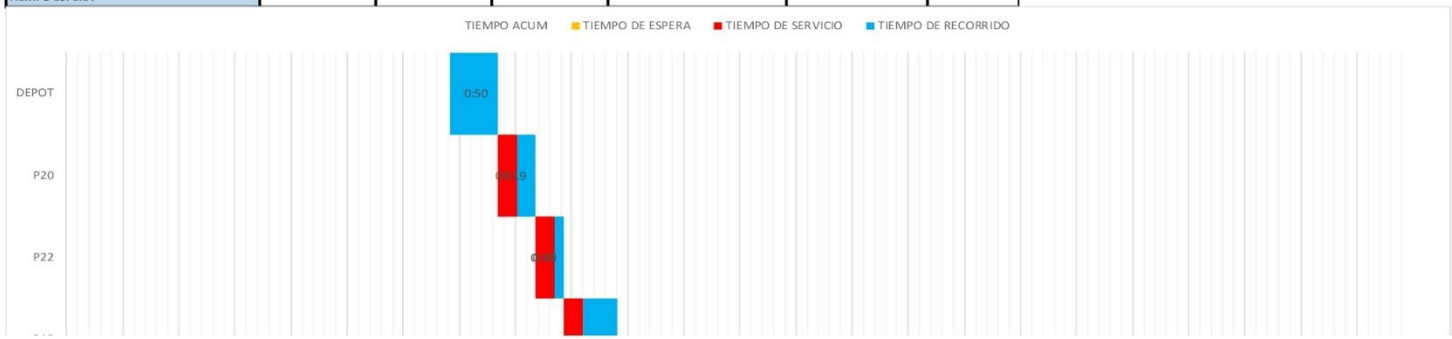
RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)		
C1	ABC001	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	169		
RUTA	5	DEPOT	P37	P33	P16	P21	P10	DEPOT
COSTO	$ 33.175		1427	2297	3566	291	2894	1465
DURACION	4:04:38		0:24:38	0:45:04	1:03:25	0:23:04	0:49:50	0:38:37
TIEMPO ACUM	10:04:38	6:00:00	6:24:38	7:09:42	8:13:07	8:36:11	9:26:01	10:04:38
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	16:00:00	10:00:00	13:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA								



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)		
C2	ABC002	INDEPENDIENTES	NHR	MITSUBISHI	180	159		
RUTA	5	DEPOT	P30	P15	P4	P29	P11	DEPOT
COSTO	$ 33.406		3036	1349	1943	610	1254	3696
DURACION	4:07:54		0:44:28	0:39:17	0:41:54	0:24:44	0:40:10	0:57:21
TIEMPO ACUM	10:07:54	6:00:00	6:44:28	7:23:45	8:05:39	8:30:23	9:10:33	10:07:54
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	11:00:00	16:00:00	16:00:00	15:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA								



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)	
C3	ABC003	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	124	
RUTA	4	DEPOT	P20	P22	P19	P1	DEPOT
COSTO	$ 32.495		3620	1175	684	2824	3869
DURACION	3:54:07		0:50:21	0:40:38	0:30:51	0:56:17	0:56:00
TIEMPO ACUM	9:54:07	6:00:00	6:50:21	7:30:59	8:01:50	8:58:07	9:54:07
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	16:00:00	16:00:00	13:00:00	10:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA							



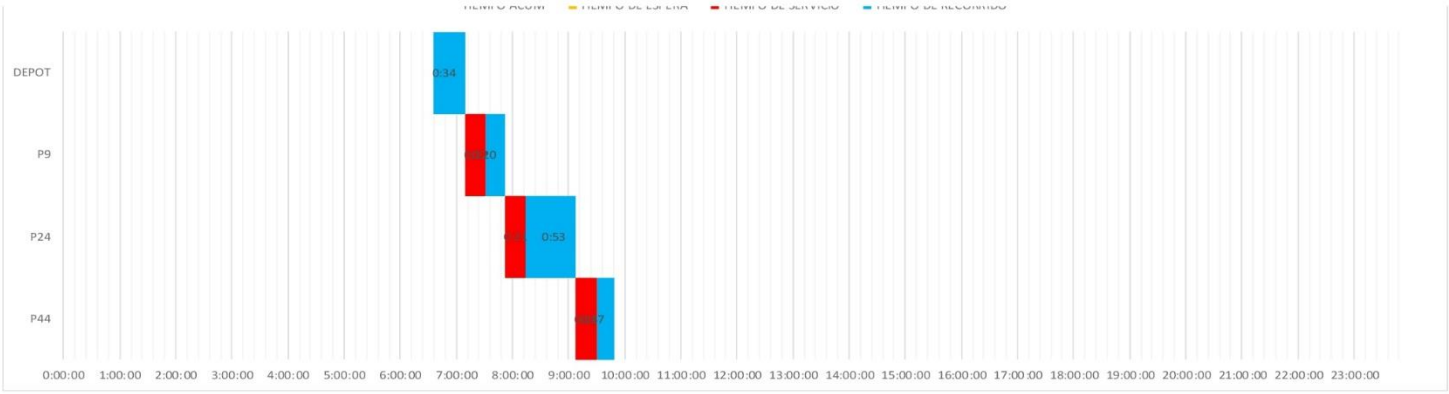


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)	
C4	ABC004	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	157	
RUTA	4	DEPOT	P26	P6	P25	P31	DEPOT
COSTO	$ 27.936		2533	1914	956	1124	2306
DURACION	3:40:04		0:34:51	0:49:36	0:36:11	0:40:17	0:59:09
TIEMPO ACUM	9:40:04	6:00:00	6:34:51	7:24:27	8:00:38	8:40:55	9:40:04
VENTANA MIN		6:00:00	5:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	11:00:00	13:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA							

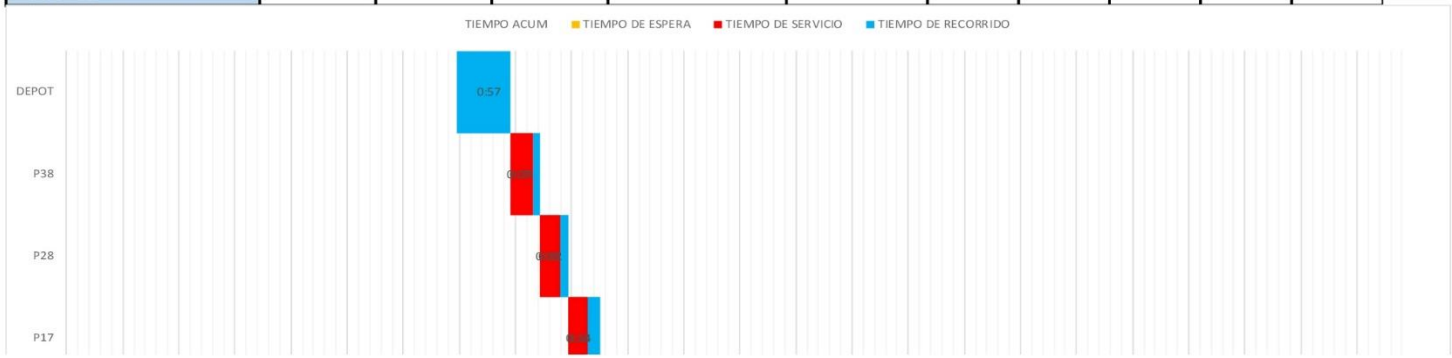


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)		
C5	ABC005	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	169		
RUTA	5	DEPOT	P9	P24	P44	P45	P41	DEPOT
COSTO	$ 36.873		1905	1889	3652	1175	1320	2864
DURACION	4:37:15		0:34:56	0:42:42	1:14:32	0:41:08	0:37:36	0:46:21
TIEMPO ACUM	10:37:15	6:00:00	6:34:56	7:17:38	8:32:10	9:13:18	9:50:54	10:37:15
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	16:00:00	16:00:00	11:00:00	11:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA								

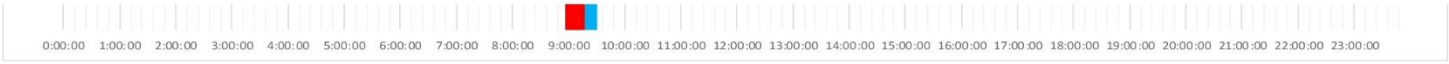




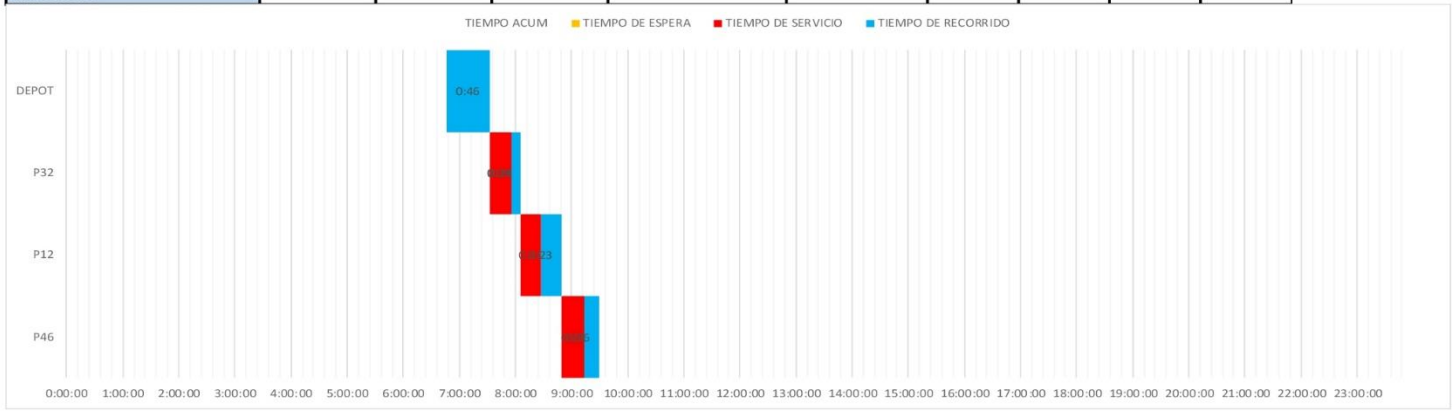
RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)					
C6	ABC006	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310	305					
RUTA	8	DEPOT	P38	P28	P17	P14	P43	P39	P8	P42	DEPOT
COSTO	$ 68.668		6039	1594	816	1859	5039	3590	5241	3228	5260
DURACION	6:54:44		0:57:14	0:31:51	0:30:31	0:34:18	0:53:28	0:40:14	0:54:24	0:55:09	0:57:35
TIEMPO ACUM	12:54:44	6:00:00	6:57:14	7:29:05	7:59:36	8:33:54	9:27:22	10:07:36	11:02:00	11:57:09	12:54:44
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:30:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	16:00:00	16:00:00	13:00:00	13:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA											



x

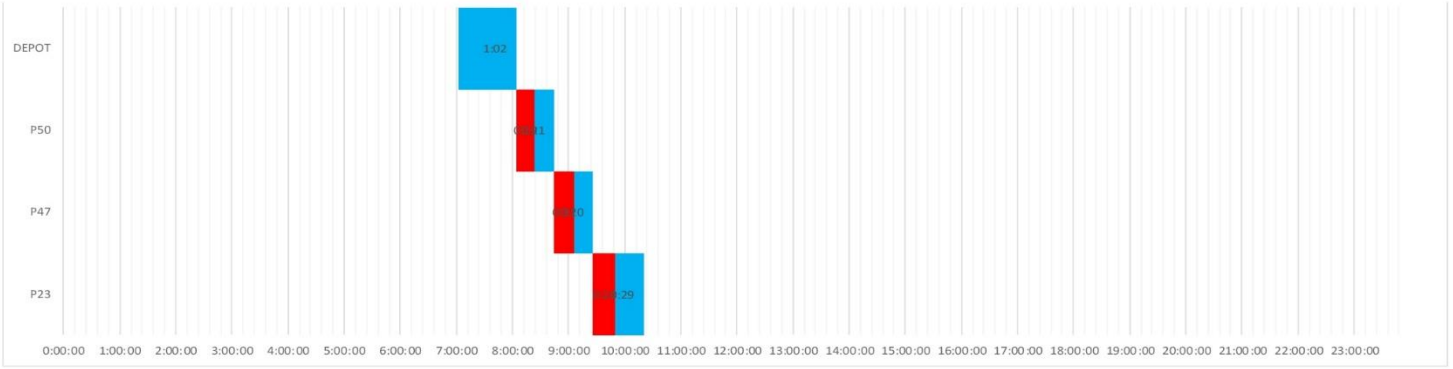


RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)				
C7	ABC007	INDEPENDIENTES	NPR	CHEVROLET	310	277				
RUTA	7	DEPOT	P32	P12	P46	P49	P18	P40	P34	DEPOT
COSTO	$ 64.932		7572	1016	2003	1443	2465	2218	3465	12407
DURACION	6:12:35		0:46:01	0:33:04	0:44:40	0:39:48	0:42:57	0:42:18	0:43:06	1:20:41
TIEMPO ACUM	12:12:35	6:00:00	6:46:01	7:19:05	8:03:45	8:43:33	9:26:30	10:08:48	10:51:54	12:12:35
VENTANA MIN		6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	16:00:00	13:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	13:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA										



RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)		
C8	ABC008	INDEPENDIENTES	NHR	CHEVROLET	180	174		
RUTA	5	DEPOT	P50	P47	P23	P48	P5	DEPOT
COSTO	$ 50.955		6339	1572	1573	2308	3238	7683
DURACION	5:25:21		1:02:10	0:40:33	0:41:25	0:54:00	0:49:31	1:17:42
TIEMPO ACUM	11:25:21	6:00:00	7:02:10	7:42:43	8:24:08	9:18:08	10:07:39	11:25:21
VENTANA MIN		6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	10:30:00	11:30:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA								





RUTA	PLACA	TIPO	REFERENCIA	NOMBRE MARCA	CAPACIDAD (CTAS)	DEMANDA (CTAS)				
C9	ABC009	INDEPENDIENTES	NKR II	CHEVROLET	250	248				
RUTA	7	DEPOT	P27	P3	P2	P7	P13	P36	P35	DEPOT
COSTO	$ 39.067		4392	1308	993	616	1587	1352	1352	2337
DURACION	4:49:30		0:38:26	0:38:34	0:35:15	0:26:30	0:36:19	0:35:26	0:35:02	0:43:58
TIEMPO ACUM	10:49:30	6:00:00	6:38:26	7:17:00	7:52:15	8:18:45	8:55:04	9:30:30	10:05:32	10:49:30
VENTANA MIN		6:00:00	5:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00	6:00:00
VENTANA MAX		16:00:00	12:00:00	11:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
TIEMPO ESPERA										

