



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Ingeniería en Logística y Transporte

“Optimización de los costos de distribución en una empresa comercializadora
de productos químicos con sede en Guayaquil”

INFORME DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN (Dentro de una materia de la malla)

Previo a la obtención del título de:
Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Freddy Enrique Vega Macías

Alex Patricio Salgado Granizo

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios, que me ha otorgado todas las bendiciones y oportunidades para realizar mis metas y deseos como persona, estudiante y profesional, a mi familia, que ha sido un apoyo importante en vida y los promotores de este desafío, con respecto a mi formación académica un grato agradecimiento al ingeniero Guillermo Baquerizo, quien a través de sus enseñanzas y consejos han contribuido en la elaboración de ese proyecto, a mi compañero Freddy Vega, por su colaboración y constancia en el desarrollo de este tema, por ultimo a mis amigos que cada día me motivaron para seguir adelante con este desafío.

Alex Patricio Salgado Granizo

A cada uno de los maestros de toda mi carrera universitaria, los cuales supieron apoyarme en las distintas fases de este aprendizaje, pero en especial a la familia Flores Saltos, quienes me acogieron en su seno familiar y me hicieron sentir un integrante más, para todos ellos un GRACIAS TOTALES.

Freddy Enrique Vega Macías

DEDICATORIAS

Dedico de manera especial a mi madre Janneth Granizo por ser el pilar más importante e influyente en mi formación personal y profesional, a Jorge Cullacay, por su apoyo, consejos y comprensión en situaciones difíciles, a mi hermana Ruth por compartir momentos significativos conmigo y siempre estar dispuesta ayudarme.

A mi padre Alex Salgado y abuela Nelly Salgado que desde el cielo junto con Dios estarán orgullosos de saber que he cumplido una meta más en mi vida.

Alex Patricio Salgado Granizo

Este trabajo es dedicado a mis padres Rita y Freddy, pues gracias a ellos pude culminar mis estudios universitarios que me abren un nuevo campo laboral, pero en especial a mi esposa Andrea y a mi hijo David, que siempre me estuvieron esperando, a que diera este gran paso en mi vida. A mis hermanos Karem y Jorge a quien espero servir de ejemplo para que alcancen todas sus metas.

Freddy Enrique Vega Macías

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Máster Guillermo Baquerizo Palma
DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Máster Erwin Joffre Delgado Bravo
DELEGADO DE FCNM

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe del Proyecto de Graduación (dentro de una materia de la malla), nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Alex Patricio Salgado Granizo

Freddy Enrique Vega Macías

RESUMEN

El presente proyecto es realizado en una empresa comercializadora de productos químicos, que se encuentra ubicada en Guayaquil.

El propósito de este proyecto consiste en definir un plan de rutas para optimizar la distancia recorrida por los vehículos de la empresa, con la finalidad de reducir los costos del proceso de despacho y distribución.

Para cumplir este objetivo, se resolverá un problema de ruteo vehicular con la heurística "Fisher & Jaikumar" para optimizar la distancia total recorrida, además con la ayuda de una heurística "2-Opt", se buscará mejorar la solución inicial.

Para obtener los costos de cada una de las rutas, se realizará un modelo tarifario de transporte el cual dará a conocer el costo en dólares por kilómetros recorridos y el costo fijo a pagar por ruta.

Finalmente para las actividades de distribución y embarcación, se van a proponer normas y políticas de transporte y manipulación de productos químicos, para asegurar que los productos que reciben los clientes tengan un alto estándar de calidad.

ABSTRACT

This project was done in a trading company of chemicals products, located in Guayaquil.

The purpose of this project is to define a route plan to optimize the distance traveled by vehicles of company, in order to reduce costs of shipping and distribution process.

Achieve this goal, the vehicle routing problem will be solved with heuristic “Fisher & Jaiukumar” to optimize the total distance traveled, also with the help of the heuristic “2-Opt”, will seek to improve the initial solution.

To obtain costs for each of the routes, will make transportation tariff model which will release the cost in dollars per Km traveled and the fixed cost to pay for route.

Finally for distribution activities, will propose rules and policies transport and handling of chemicals to ensure that customers receive products have a high quality standard.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIAS.....	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XIII
ABREVIATURAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVIII
Capítulo 1.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problemática.....	2
1.3. Hipótesis de trabajo	3
1.4. Justificación del problema	3
1.4.1. Problema de Ruteo Vehicular	4
1.4.2. Establecer políticas de transporte y manipulación de productos químicos.....	4
1.5. Objetivos.....	5
Capítulo 2.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Introducción	6
2.2. Estado del arte	6

2.2.1.	Diseño de un sistema de soporte de decisiones para resolver el problema de ruteo en un servicio de Courier	7
2.2.2.	Un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple m-VRP resuelto con la heurística de Fisher & Jaikumar.....	8
2.2.3.	Diseño e implementación de una heurística para el problema de ruteo vehicular con recolección y entrega de mercadería (VRPPD).	9
2.3.	Marco Conceptual	10
2.3.1.	Problema de Ruteo Vehicular ^[4]	10
2.3.2.	Variantes del VRP.....	11
2.3.3.	CVRP	12
2.3.3.1.	Formulación Matemática	13
2.3.3.2.	Variables.....	14
2.3.3.3.	Función Objetivo.....	15
2.3.3.4.	Restricciones	15
2.3.4.	Heurística de Fisher & Jaikumar	16
2.3.4.1.	Algoritmo	17
2.3.4.2.	Formulación Matemática	17
2.3.4.3.	Variables.....	18
2.3.4.4.	Función Objetivo.....	19
2.3.4.5.	Restricciones	19
2.3.5.	Modelo Tarifario de Transporte.....	20
2.3.5.1.	Los componentes del modelo.....	20
2.3.6.	Heurística 2 – opt.....	21
2.3.6.1.	Algoritmo	22
2.3.7.	Políticas de transporte y manipulación de productos químicos ^[9]	22
2.3.7.1.	Transporte	23
2.3.7.2.	Vehículos	25
2.3.7.3.	Carga y descarga	26

Capítulo 38i	31
METODOLOGÍA DE TRABAJO	31
3.1. Introducción	31
3.2. Cadena de Suministro de áreas afectadas para realizar el estudio... 33	33
3.3. Cronograma de actividades.....	34
3.4. Organigrama de la empresa	36
Capítulo 4	47
PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	47
4.1. Introducción	47
4.2. Aplicación de la Heurística de Fisher & Jaikumar.....	47
4.2.1. Fase I: Asignación Generalizada	49
4.2.2. Fase II: TSP para cada cluster.....	51
4.3. Aplicación del Algoritmo de 2-Opt	53
4.4. Análisis comparativo.....	56
4.5. Resultados del modelo tarifario	57
4.6. Análisis de resultado de costos	60
4.7. Implementación de las políticas de transporte y manipulación de productos químicos	62
Capítulo 5	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Situación actual de la empresa.....	1
Figura 2.1. Diagrama de las variantes del VRP	11
Figura 3.1. Diagrama de Flujo metodología a seguir	32
Figura 3.2. Cadena de Suministro de áreas involucradas	33
Figura 3.3. Diagrama de actividades	35
Figura 3.4. Organigrama de la empresa	36
Figura 4.1. TSP para cada cluster	52
Figura 4.2. Todas las rutas de cada cluster	53
Figura 4.3. Rutas mejoradas con 2-Opt	55
Figura 4.4. Todas las rutas mejoradas con 2-Opt.....	56
Figura 4.5. Función Lineal de todas las rutas	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Datos principales para la heurística	48
Tabla 4.2. Clientes Semillas	49
Tabla 4.3. Asignación de los clientes a cada cluster.....	50
Tabla 4.4. TSP para cada cluster.....	51
Tabla 4.5. Rutas mejoradas con 2-Opt	54
Tabla 4.6. Análisis Comparativo entre Fisher & Jaikumar	56
Tabla 4.7. Costos fijos del vehículos.....	57
Tabla 4.8. Costos variables del vehículo	59
Tabla 4.9. Costos del modelo tarifario	59
Tabla 4.10. Análisis de resultados de costos.....	60
Tabla 4.11. Resultados finales.....	61
Tabla 4.12. Procedimiento para la implementación de políticas	62

GLOSARIO DE TÉRMINOS

C

Cluster: Una agrupación de empresas e instituciones relacionadas entre sí, pertenecientes a un mismo sector o segmento de mercado.

Cluster first – Route second: Estos métodos realizan una sola agrupación del conjunto de vértices y luego determinan una ruta vehicular en cada grupo.

Clarke & Wright: Este algoritmo también es conocido como método de los "ahorros" y se trata de un heurístico específico para resolver el problema de rutas de vehículos (VRP).

D

Distancia de Manhattan: Es la distancia entre dos puntos, medida sobre ejes a ángulos rectos, es decir, la distancia que se recorrería para llegar de un punto a otro si se siguiera una trayectoria en forma de cuadrícula, por ejemplo, ir en auto por una ciudad con estructuras distribuidas en cuadras.

H

Heurísticas: Son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados. [5]

N

NP: Consiste de aquellos problemas que son verificables en el polinomio de tiempo. Es decir, si se nos da una posible solución, a continuación, podríamos comprobar si la solución es correcta en el polinomio de tiempo. [2]

NP-complejo: No proporciona un método para obtener algoritmos de tiempo polinomio. Ni dice que estos algoritmos no existan. Lo que muestra es que muchos de los problemas para los cuales no conocemos algoritmos polinómicos están relacionados (computacionalmente). [2]

O

Optimización Combinatoria: Es una rama de la optimización en matemáticas aplicadas y en ciencias de la computación, relacionada a la investigación de operaciones, teoría de algoritmos y teoría de la complejidad computacional. [3]

T

Traveling Salesman Problem (TSP): Problema de optimización donde se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera, no se distinguiría de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales. [4]

2-OPT: Es un algoritmo de búsqueda local, fue propuesto por primera vez en 1958 para resolver el problema del agente viajero (TSP). La idea principal detrás de esto es tomar una ruta que cruza sobre sí mismo y reordenarla de tal manera que la solución inicial sea mejorada.

ABREVIATURAS

CEDI:	Centro de Distribución.
CVRP:	Capacitated Vehicle Routing Problem (Problema del Ruteo Vehicula Capacitado).
CVRTPW:	Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window (Problema del Ruteo Vehicular Capacitado con Ventana de Tiempo).
DSS:	Decision Support System (Sistema de Soporte de Decisiones).
GAP:	Generalized Assignment Problem (Problema de Asignación Generalizada).
MDVRP:	Multiple Depot Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo Vehicular Deposito Múltiple).
PVRP:	Periodic Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo Vehicular Periódico).
PYME:	Pequeña y Mediana Empresa.
SDVRP:	Split Delivery Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo Vehicular con Entrega Dividida).

- TSP:** Traveling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero).
- VRP:** Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo Vehicular).
- VRPPD:** Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (Problema del Ruteo Vehicular con Recolección y Entrega).
- VRPTW:** Vehicle Routing Problem with Time Window (Problema del Ruteo Vehicular Capacitado con Ventana de Tiempo).

INTRODUCCIÓN

El problema de distribuir productos desde un depósito a sus clientes, juega un papel fundamental en la gestión de algunos sistemas logísticos y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. Por lo cual este proyecto intenta dar solución al problema de ruteo vehicular.

En el primer capítulo se describe los antecedentes de la empresa y el entorno de su negocio. Se plantea la problemática, las hipótesis del trabajo, la justificación y los objetivos: general y específicos.

En el segundo capítulo se detalla el estado del arte y el marco conceptual, donde se presentan conceptos y métodos que ayudarán a la solución de las problemática de la empresa.

En el tercer capítulo se define la metodología de trabajo, cronograma de actividades, la cadena de suministro de las áreas afectadas y el organigrama de la empresa con las respectivas funciones que desempeñan en cada cargo.

En el cuarto capítulo se describe el análisis de los resultados tales como: las rutas generadas por la heurística de Fisher & Jakumar, las rutas mejoradas por el

algoritmo 2- Opt, los costos del modelo tarifario y las políticas de transporte y manipulación de productos químicos.

En quinto y último capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones propuestas para la viabilidad del estudio

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La empresa objeto de estudio es una empresa ecuatoriana distribuidora de productos químicos, con 26 años de experiencia en el mercado nacional, ubicada en el Km. 9 ½ de la vía a Daule, en la zona industrial, la cual se dedica a comercializar materia prima de alta calidad para todo tipo de industrias.

En sus inicios solo comercializaban 5 productos, hoy en día, la empresa vende más de 400, los mismos que van desde la línea cosmética hasta la línea textil. La empresa sigue creciendo gracias al esfuerzo y dedicación por satisfacer las necesidades de sus clientes.

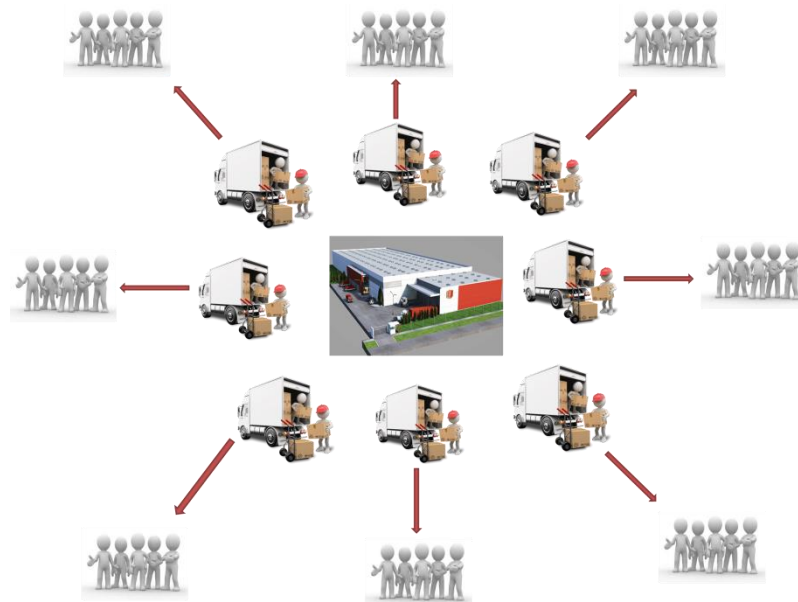


Fig 1.1. Situación actual de la empresa
Fuente: Creado por los autores

La empresa es líder en el mercado nacional y está expandiendo sus fronteras a medida que el mercado lo exige. Actualmente es el tercer importador de químicos, a nivel nacional. Para el proceso de distribución cuenta con 8 furgones propios de 15 toneladas y una bodega central en Guayaquil, donde almacenan sus productos, para posteriormente ser distribuidos a sus clientes, ubicados en diferentes puntos de la ciudad.

1.2. Problemática

El proceso empieza cuando el cliente realiza su pedido, sea por vía telefónica o en forma presencial. Luego, es cargado al sistema, en donde se detallan las cantidades de la mercadería. Cuando el pedido es receptado en bodega, la persona responsable realiza el respectivo despacho.

Uno de los problemas radica al momento de realizar la distribución de los pedidos ya despachados, la misma que es realizada con flota propia de la empresa, debido a que el ruteo de los vehículos se lo realiza empíricamente, es decir se clasifican las guías de transporte por zonas (norte, sur y centro) y se cargan los vehículos con la mayor cantidad de pedidos. A continuación se detallan los problemas que presenta la empresa, al no tener un sistema de apoyo para la generación de rutas:

- Atrasos en la entregas de los pedidos e insatisfacción de los clientes.

- Altos tiempos de demora para la elaboración del ruteo de transporte realizado manualmente en la actualidad.
- Errores al momento de realizar las entregas de productos, causados por la mala coordinación de rutas.

1.3. Hipótesis de trabajo

La implantación de un diseño de rutas de buena calidad permitirá la reducción de costos de transporte y de las distancias recorridas en la actividad de distribución de productos químicos desde el CEDI de la empresa objeto de estudio hacia los distintos sectores de los clientes ubicados en Guayaquil.

1.4. Justificación del problema

Plantear un diseño de rutas de buena calidad que permitirá reducir los costos de la actividad de distribución, además las políticas de transporte y manipulación de productos químicos también serán analizadas para plantear mejoras.

Para la resolución de estos problemas se deben tomar en cuenta aspectos muy importantes para su solución, como ubicaciones y demandas de los clientes y temas relacionados en cuanto al nivel de servicio por la entrega realizada a los clientes.

Es por ello que se ha dividido el problema en dos etapas:

1.4.1. Problema de Ruteo Vehicular

En esta parte del proyecto se va a diseñar un conjunto de rutas de tal forma que los vehículos partan del CEDI cargados de pedidos para realizar la entrega hacia los clientes ubicados en diferentes zonas geográficas de Guayaquil.

La ubicación de los clientes ha sido proporcionada por el CEDI de la empresa para realizar este proyecto. Claramente uno puede darse cuenta que se desea resolver un CVRP debido a que los vehículos cuentan con una capacidad limitada, uno de los muchos métodos de solución para este problema y el cual será utilizado en esta investigación es la heurística de Fisher & Jaikumar que en un primer punto clasifica los clientes por conglomerados y luego realiza el ruteo, en el marco conceptual se detalla de una manera más profunda esta heurística.

1.4.2. Establecer políticas de transporte y manipulación de productos químicos.

Una vez diseñadas las rutas de entrega de productos en la etapa previa, se plantearán las políticas de transporte y manipulación de productos químicos, estableciendo parámetros que garantizan su calidad y la posterior satisfacción del cliente.

1.5. Objetivos

El objetivo es una de las instancias fundamentales en un proceso de planificación y que se plantean de manera abstracta al inicio, pero luego pueden concretarse en la realidad.

El objetivo general de este proyecto es:

- Diseñar rutas de entrega que permitan reducir costos y tiempos relacionados a la distribución de productos químicos para un mejor nivel de desempeño.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- Programar la heurística de Fisher & Jaikumar que permita buscar una mejor solución de las rutas de entrega de productos.
- Mejorar la solución inicial que propone la heurística con el algoritmo de 2-OPT.
- Elaborar un modelo tarifario para conocer los costos de transporte.
- Proponer mejoras en las políticas de transporte y manipulación de productos químicos

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En el presente capítulo se analizan diferentes técnicas acerca de la optimización del costo de distribución, además de las políticas de embarcación de productos químicos en la flota, adicionalmente se presentan varias teorías y conceptos que ayudan al diseño general de distribución, lo que servirá al logro de los objetivos planteados.

El problema de diseño de distribución surge para mejorar el proceso de ruteo vehicular y obtener un valor agregado en el nivel de servicio al cliente que beneficiará a la empresa.

2.2. Estado del arte

La siguiente sección tiene como principal objetivo relacionar ideas y teorías sobre el problema actual con las aplicaciones realizadas por otros autores, por eso se realizó un análisis de los siguientes tres informes científicos:

2.2.1. Diseño de un sistema de soporte de decisiones para resolver el problema de ruteo en un servicio de Courier

El artículo aporta una opción alterna a la adquisición de software de ruteo, que por lo general se consigue en el exterior a altos precios. El trabajo parte de un enfoque conceptual al modelizar el problema de entrega de carga como un CVRPTW, e investiga posibles opciones de solución desde un enfoque evolutivo, es decir, empleando uno de los métodos metaheurísticos más usados, el cual es el algoritmo genético, para luego proponer el desarrollo e implementación de un DSS que ayude a la planificación de rutas. De esta manera, se aborda esta temática según su real naturaleza; es decir, se centra en resolver el problema de ruteo como uno de optimización combinatoria, buscando un método eficiente y moderno, y no en la implantación informática del DSS, pero sin dejar de darle importancia a ésta.¹

Por último, se utilizan los datos de una de las empresas courier líder en el mercado local, por su red de puntos de servicio y cobertura nacional, con el objetivo de evidenciar la aplicabilidad de la propuesta.

¹ Diseño de un sistema de soporte de decisiones para resolver el problema de ruteo en un servicio de Courier. J. Tomalá Robles, J. Pincay Villa. (2010), Espol-Ecuador

2.2.2. Un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple m-VRP resuelto con la heurística de Fisher & Jaikumar

La empresa no aplica un método para la planeación de sus rutas vehiculares en la repartición de los productos a sus clientes, por lo que no tiene un fundamento técnico que le permita visualizar por donde iniciar a repartir y donde terminar, dejando muchas veces fuera a los clientes que de cierta manera son importantes o que tienen una mayor demanda, ocasionando un nivel de servicio irregular y eventualmente pérdidas económicas. Hay una alta cantidad de clientes con los que trabajan con mayor frecuencia, y por lo tanto, la empresa requiere una planeación de rutas vehiculares que minimice los costos de transporte, considerando la demanda de los clientes y la capacidad de los vehículos.²

La heurística de asignación generalizada de Fisher & Jaikumar utilizada en el presente caso pertenece a los métodos de dos fases bajo la secuencia *cluster first – route second*, y se aplicó en un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple (m-VRP) dentro de una empresa clasificada como PYME dedicada a la distribución de productos de papelería y oficina, en el cual m-vehículos parten a visitar n-clientes y regresan a un mismo centro de distribución,

² Un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple m-VRP resuelto con la heurística de Fisher & Jaikumar. Guerrero-Campanur, R.E. Pérez-Loaiza, E. Olivares-Benítez. (2011). México DF.

deseando que el recorrido minimice los costos de transporte, respetando la capacidad de cada uno de los m-vehículos así como la demanda del cliente.

2.2.3. Diseño e implementación de una heurística para el problema de ruteo vehicular con recolección y entrega de mercadería (VRPPD).

Este documento presenta un modelo para resolver el problema de enrutamiento de vehículos con recolección y entrega de mercadería (VRPPD) simultáneamente con flota homogénea. Esta fase está compuesta de procedimientos heurísticos donde se construye una solución inicial que es mejorada mediante el 2-OPT. El procedimiento tiene como función objetivo minimizar el costo total de las rutas sin olvidar que se debe mantener un buen servicio al cliente. El VRPPD, consiste en encontrar una solución óptima donde se realice la entrega y recolección de productos simultáneamente recorriendo todos los clientes de una ruta que están geográficamente dispersos, comenzando en un punto dado (Depósito) y terminando en el mismo, con la finalidad de minimizar la distancia recorrida.³

Esta investigación aporta a este proyecto debido a que tiene un enfoque similar y que es de gran importancia en el ámbito logístico para optimizar recursos como

³ Diseño e Implementación De Una Heurística Para el Problema De Ruteo Vehicular Con Recolección y Entrega De Mercadería (Vrppd). Gisella Cepeda, Maritza San Lucas, Erwin Delgado (2013), Espol-Ecuador

tiempo y dinero, además de mejorar el nivel de desempeño de la empresa donde el más beneficiado será el cliente.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Problema de Ruteo Vehicular ^[4]

El problema de enrutamiento o ruteo de vehículos (VRP) data del año 1959 y fue introducido por Dantzig y Ramser, quienes describieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron una formulación matemática. Cinco años después, Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para resolverlo. Y es así como se dio comienzo a grandes investigaciones y trabajos en el área de ruteo de vehículos.

El VRP consiste en, dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez.

Este problema puede entenderse como la intersección de dos conocidos problemas de optimización combinatoria: el TSP y el BPP.

2.3.2. Variantes del VRP

A continuación se detalla un esquema de las variantes que pueden presentarse en el problema de ruteo de vehículos:

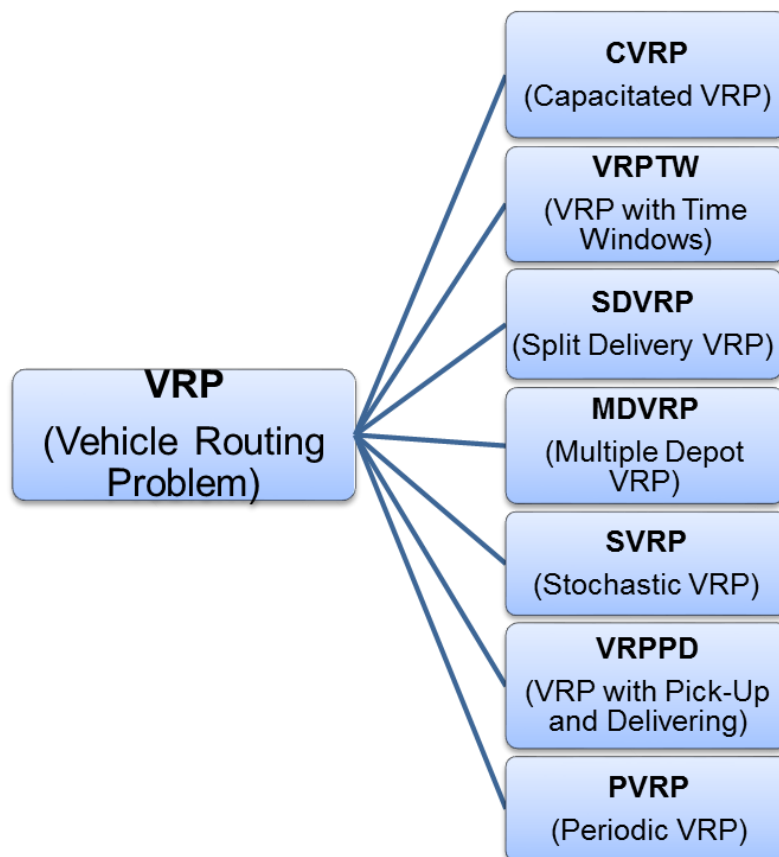


Figura 2.1. Diagrama de las variantes del VRP
Fuente: William J. Cook

- ✓ **CVRP:** Se tiene una restricción de capacidad para cada vehículo.
- ✓ **VRPTW:** Los clientes son atendidos en un cierto espacio de tiempo el cual es denominado ventana horaria.
- ✓ **SDVRP:** La entrega de la mercadería a un cliente puede ser prevista en más de un vehículo.
- ✓ **MDVRP:** El proveedor puede ser más de un depósito.
- ✓ **SVRP:** Los datos principales como demandas, número de clientes y tiempos de servicios pueden ser aleatorios.
- ✓ **VRPPD:** Se realiza la entrega y recolección de productos simultáneamente recorriendo todos los clientes de una ruta.
- ✓ **PVRP:** La entrega de mercadería se realiza de forma periódica es decir en días estipulados por las dos partes (proveedor-cliente).

El presente proyecto se enfoca a la variante CVRP debido a que la empresa objeto de estudio cuenta con una flota homogénea y con una restricción de capacidad de 15 toneladas para cada vehículo.

2.3.3. CVRP

Consiste en el mismo problema del VRP tradicional pero se debe agregar a todos los vehículos una capacidad uniforme, de tal forma que satisfagan la demanda de los clientes. El objetivo principal de este problema es reducir al mínimo la cantidad

de vehículos así como también el tiempo empleado en realizar la distribución, sin dejar de lado la demanda total de cada ruta que no debe exceder la capacidad del vehículo asignado para el reparto de mercadería.

2.3.3.1. *Formulación Matemática*

La formulación matemática para este problema se puede decir que es una extensión del TSP en la cual cada cliente $i \in V$ (conjunto de clientes) excepto el depósito, tiene asociada una demanda d_i y cada vehículo tiene una capacidad límite. El modelo matemático es como sigue:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$s.a: \quad \sum_{(j) \in (0)}^n x_{0j} = m \quad (2)$$

$$\sum_{(i) \in \Delta^-(0)}^n x_{i0} = m \quad (3)$$

$$\sum_{(j) \in \Delta^+(i)}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{(i) \in \Delta^-(j)}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (5)$$

$$\sum_{(i) \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (6)$$

$$m \geq 1 \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (8)$$

2.3.3.2. Variables

Las notaciones del modelo matemático son como sigue:

n : número de clientes donde el nodo 0 representa al depósito.

m : número de vehículos usados.

V : conjunto de n clientes.

E : conjunto de los posibles arcos.

S : subconjunto del conjunto de clientes V .

arco (i,j) : representa el mejor camino para ir desde el nodo i hacia el nodo j en la red de transporte.

c_{ij} : costo asociado al $arco(i,j)$ en este proyecto el grafo con el que se trabajará es simétrico es decir el costo de ir de i a j es exactamente el mismo que ir de j a i .

x_{ij} : variable binaria que indica si el $arco(i,j)$ forma parte de la solución.

$\Delta^-(i)$ y $\Delta^+(i)$: son el conjunto de nodos adyacentes e incidentes al nodo i , es decir:

$$\Delta^-(i) = \{j \in V | (j, i) \in E\}$$

$$\Delta^+(i) = \{j \in V | (i, j) \in E\}$$

2.3.3.3. Función Objetivo

La función objetivo presentada en (1) consiste en minimizar el costo total asociado a cada ruta y encontrar la mínima distancia de recorrido total utilizando el menor número de vehículos respetando la capacidad del mismo.

2.3.3.4. Restricciones

El CVRP está sujeto a las restricciones presentadas de (2) a (8):

- ✓ Las restricciones (2) y (3) indican que todos los vehículos que parten del depósito, deben regresar y la cantidad de vehículos utilizados es igual a m .

- ✓ Las restricciones (4) y (5) certifican que todo cliente es un nodo intermedio de alguna ruta.
- ✓ La restricción (6) sirve para eliminar sub-tours y a su vez la demanda total de los clientes visitados por un vehículo no puede superar la capacidad. El valor de $r(S)$ se determina resolviendo el BPP que será detallado más adelante.
- ✓ Restricción (7): el número de vehículos usados debe ser mayor o igual que 1.
- ✓ La restricción (8) corresponde a los valores que puede tomar $x(i,j)$: 1 si el *arco*(i,j) es parte de la solución, 0 sino.

2.3.4. Heurística de Fisher & Jaikumar

La heurística de Fisher & Jaikumar es una de las muchas heurísticas para resolver el problema del CVRP. Las mismas que pueden ser mejoradas mediante otros algoritmos heurísticos, pero empleando tiempos de ejecución más elevados.

En este proyecto, la solución que proporcione la heurística de Fisher & Jaikumar será mejorada con el algoritmo 2-Opt el cuál será explicado más adelante.

Básicamente esta heurística se la puede clasificar en el grupo de métodos *Asignar Primero - Rutear Después* (cluster first – route second) ya que en su primera etapa

se deben generar grupos de clientes llamados clusters y en la segunda etapa para cada cluster buscar una ruta de mínimo costo que visite a todos los clientes.

Se lo puede observar desde el punto de vista que para cada cluster se debe resolver un TSP sin olvidar que la demanda total para cada cluster no exceda la capacidad del vehículo.

2.3.4.1. Algoritmo

Paso 1: Ésta es la fase de inicialización es decir formar K clusters e inicializar cada uno con un cliente s_k donde k va desde 1 hasta los K clusters.

Paso 2: En este punto se resuelve el GAP para decidir a qué cluster va cada cliente.

Paso 3: Finalmente en la parte de ruteo, resolver un TSP con los clientes de cada cluster asignados en el punto 2.

2.3.4.2. Formulación Matemática

Como ya se mencionó anteriormente esta heurística se divide en dos fases: primero asignar los clusters a cada cliente, la cuál será resuelta mediante un GAP y la segunda fase es resolver un TSP con los clientes de cada cluster.

El modelo matemático para asignar cada cluster (mediante GAP) es como sigue:

$$\min \sum_{k=1}^k \sum_{i \in V \setminus \{0\}} d_{ik} x_{ik} \quad (9)$$

$$s.a: \quad \sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad \forall_j \in V \setminus \{0\} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_{ik} x_{ik} \leq Q \quad \forall_k = 1, \dots, K \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_i \in V \setminus \{0\}, \forall_k = 1, \dots, K \quad (12)$$

2.3.4.3. Variables

K : número de cluster, donde se debe fijar primero K clientes semilla s_k con $k=1, \dots, K$.

V : conjunto de clientes.

x_{ik} : variable binaria que indica si el cliente i es asignado al cluster k .

q_{ik} : demanda del cliente i en el cluster k .

d_{ik} : costo de asignar el cliente i al cluster k .

Q : capacidad del vehículo.

2.3.4.4. Función Objetivo

La función objetivo presentada en la ecuación (9) consiste en minimizar el costo total de asignación donde d_{ik} se halla de la siguiente manera:

$$d_{ik} = c_{0i} + c_{i,s_k} - c_{0,s_k}$$

Y significa que el costo de asignar el cliente i al cluster k es igual al costo de ir del depósito al cliente i + el costo de ir del cliente i al cliente semilla s_k – el costo de ir del depósito al cliente semilla s_k .

2.3.4.5. Restricciones

- ✓ La ecuación (10) corresponde a la restricción que indica que cada cliente debe ser asignado solamente a un cluster.
- ✓ En la restricción presentada en (11) se indica claramente que la demanda de los clientes en un mismo cluster no puede superar la capacidad del vehículo.
- ✓ Por último, la ecuación (12) corresponde a la restricción de los valores que puede tomar la variable binaria x_{ij} , 1 si el cliente i es asignado al cluster j y 0 si no.

2.3.5. Modelo Tarifario de Transporte

Consiste en establecer el costo de transporte de distintas rutas con diferentes tipos de vehículos para seleccionar la alternativa óptima. Con esto se logra determinar la capacidad del vehículo que debe realizar una ruta específica y observar claramente el valor del costo a pagar por el transporte.

El propósito es garantizar el marco de informe para que tanto el usuario como el transportista obtengan el mayor beneficio; definir los elementos de ajuste que permitan dar sustento al modelo de tarifas a largo plazo y la toma de decisiones en las áreas de distribución.

2.3.5.1. *Los componentes del modelo*

- ✓ **Costos fijos:** Se mantienen inquebrantables independientemente de la distancia de la ruta o recorrido que el vehículo efectuará y son: impuestos de inversión, mano de obra y alimentación.
- ✓ **Costos variables:** Varían de acuerdo con la distancia de la ruta o recorrido, dependiendo directamente del uso de los vehículos y son: neumáticos, mantenimiento, combustible, etc.
- ✓ **Parámetros del modelo:** Variables que se determina en base al producto que se transporte y a su entorno.

- ✓ **Parámetros de la ruta:** Características que diferencian a las rutas de transporte.

2.3.6. Heurística 2 – opt

En la optimización, 2-opt es un simple algoritmo de búsqueda local, inicialmente propuesto por Croes en 1958 para resolver el problema del viajante de comercio. La idea principal detrás de esto es tomar una ruta que cruza sobre sí misma y reordenar de forma que no es así.

Un total de 2^n combinaciones de búsqueda local comparará todas las combinaciones posibles válidas del mecanismo de intercambio. Esta técnica se puede aplicar al problema del viajante de comercio, así como muchos otros problemas conexos. Estos incluyen el problema de rutas para vehículos (VRP), así como el CVRP, que requieren menor modificación del algoritmo.

2.3.6.1. Algoritmo

Inicialización

Considerar un ciclo Hamiltoniano inicial

$move = 1$

Mientras ($move=1$)

$move = 0$. Etiquetar todos los vértices como no explorados.

Mientras (Queden vértices por explorar)

 Seleccionar un vértice i no explorado.

 Examinar todos los movimientos 2-opt que incluyan la arista de i a su sucesor en el ciclo. Si alguno de los movimientos examinados reduce la longitud del ciclo, realizar el mejor de todos y hacer

$move = 1$.

 En otro caso etiquetar i como explorada.

La variable $move$ vale 0 si no se ha realizado algún movimiento al examinar todos los vértices, y 1 en otro caso. El algoritmo finaliza cuando $move = 0$, con lo que queda garantizado que no existe ningún movimiento 2-opt que pueda mejorar la solución.

2.3.7. Políticas de transporte y manipulación de productos químicos ^[9]

Para transportar y manipular productos químicos deben garantizar que todo el personal que esté vinculado con la operación de transporte cuente con los equipos de seguridad adecuados para su labor y un entrenamiento específico, a fin de asegurar que posean los conocimientos y las habilidades básicas para

minimizar la probabilidad de ocurrencia de accidentes y errores en su ejecución. Para el manejo de productos químicos se debe cumplir con los siguientes reglamentos:

2.3.7.1. Transporte

- Los transportistas que manejen o manipulen productos químicos peligrosos deben contar con un permiso de funcionamiento.
- Deben garantizar que los conductores y el personal auxiliar reciban de forma inmediata a su admisión, toda la información necesaria, además del entrenamiento respectivo. Los conocimientos adquiridos deben ser actualizados periódicamente.
- En caso de daños o de fallas del vehículo en ruta, el transportista llamará a empresas especializadas que garanticen la manipulación de la carga dentro de normas técnicas y de seguridad según instrucciones del fabricante y del comercializador, de igual manera debe informar inmediatamente el daño y la presencia de productos químicos peligrosos a las autoridades competentes.
- Los conductores deben conocer las características generales de la carga que se transporta, sus riesgos, grado de peligrosidad, normas de actuación frente a una emergencia y comprobar que la carga y los equipos se encuentren en buenas condiciones para el viaje.

- El transportista controlará que los vehículos que transporten productos químicos peligrosos, estén dotados del equipamiento básico destinado a enfrentar emergencias, consistente en al menos de: 2 extintores de más de 10 kilogramos de carga neta, equipo de primeros auxilios, 2 palas, 1 zapapico, 2 escobas, fundas plásticas resistentes, aserrín y material absorbente, equipo de comunicación y equipo de protección personal adecuado.
- Todas las personas que almacenen y manejen productos químicos peligrosos, deben de garantizar que cuando se necesite cargar o descargar la totalidad o parte de su contenido, el transportista y el usuario deben instalar vallas reflectivas de alta intensidad o grado diamante con la simbología del producto químico peligroso, que aíslen la operación, con todas las medidas de seguridad necesarias.
- Estacionamiento

En carretera el conductor debe efectuar lo siguiente:

- ✓ Instalar señales reflectivas de seguridad de alta intensidad o grado diamante; anteriores, posteriores y laterales, con la simbología del producto químico peligroso que transporta.
- ✓ Verificar que el vehículo y la carga no generen problemas en caso que los conductores tengan que alejarse del vehículo.

- ✓ El estacionamiento debe efectuarse lo más alejado posible de áreas pobladas.
- ✓ En caso de que el vehículo deba ser abandonado por cualquier motivo, notificar inmediatamente a las autoridades competentes sobre la localización y el contenido del mismo.

En lugares públicos el conductor debe:

- ✓ El estacionamiento debe efectuarse lo más alejado posible de áreas pobladas, escuelas, hospitales, cárceles, aeropuertos y lugares de concentraciones masivas (al menos 500 m).
- ✓ En caso de que el vehículo deba ser abandonado, por cualquier motivo, notificar inmediatamente a las autoridades competentes sobre la localización y el contenido del mismo.

2.3.7.2. Vehículos

Los vehículos dedicados al transporte de productos químicos deben cumplir con un mínimo de características especiales:

- ✓ El tipo, capacidad y dimensiones de sus carrocerías, deben contar con una estructura que permita contener o estibar el material peligroso de tal manera que no se derrame o se escape.

- ✓ También deben contar con elementos de carga y descarga, compuertas y válvulas de seguridad, de emergencia y mantenimiento, así como también de indicadores gráficos, luces reglamentarias y sistemas de alarma, aviso en caso de accidentes y sistema de comunicación para emergencias.
- ✓ Deben disponer de un equipo básico de emergencia para control de derrames.
- ✓ Deben tener los dispositivos que le permitan situar los carteles para la identificación de los productos químicos peligrosos que transporta.

2.3.7.3. Carga y descarga

Los productos antes de ser transportados deben ser clasificados por tipo de productos, clase, uso y toxicidad.

1) Apilamiento:

- ✓ Los productos químicos deben ser apilados de acuerdo al grado de compatibilidad con otros productos.
- ✓ Los envases no deben estar colocados directamente en el piso sino sobre plataformas o paletas.
- ✓ Los envases deben apilarse de tal forma que no se dañen unos con otros.

- ✓ Los envases deben apilarse en las paletas de acuerdo a una sola clasificación.
- ✓ La altura de apilado no debe exceder a dos paletas; solamente se permite colocar un bulto encima de otro y cada bulto no debe tener más de 1,3 metros de alto.

2) Compatibilidad:

Durante el apilamiento y manejo general de los productos químicos no se deben mezclar los siguientes productos:

- ✓ Materiales tóxicos con alimentos, semillas o productos agrícolas comestibles.
- ✓ Combustibles con oxidantes.
- ✓ Explosivos con fulminantes o detonadores.
- ✓ Líquidos inflamables con oxidantes.
- ✓ Material radioactivo con otro cualquiera.
- ✓ Sustancias infecciosas con ninguna otra.
- ✓ Ácidos con bases.
- ✓ Oxidantes con reductores.

3) Condiciones de carga:

Previo a la maniobra de carga, el transportista debe cumplir con las siguientes condiciones:

- ✓ Colocar adelante, atrás y en los costados del vehículo, señalizaciones que indiquen que se está procediendo a la carga.
- ✓ Comprobar que el contenedor se encuentre completamente limpio y sin residuos.
- ✓ Verificar la inexistencia de fugas o derrames provenientes de los contenedores.
- ✓ Si el material es trasladado en cajas o en tambores cerrados, verificar que todos se encuentren debidamente protegidos contra todo rozamiento o golpe.
- ✓ Si el cargamento comprende diversos tipos de mercancías, separar los productos químicos peligrosos de los demás.
- ✓ Para el ordenamiento de la carga, observar las normas técnicas del fabricante y los procedimientos de clasificación y apilamiento recomendados.
- ✓ Abastecer de combustible al vehículo antes de iniciar la carga.

4) Condiciones de Descarga:

En la operación de descarga de los productos químicos se deben proceder con suma atención respetando en todo momento los siguientes requisitos mínimos:

- ✓ Antes de descargar un vehículo con este tipo de productos, revisar minuciosamente los etiquetados y las hojas de seguridad a fin de que el personal conozca sobre la forma de descarga que garantice una operación con un mínimo de riesgo.
- ✓ Antes de proceder a la descarga, realizar una inspección física de toda la parte externa del vehículo para verificar la existencia de fugas, escurrimientos, señales de impacto, desgaste, sobrecalentamiento de una o varias partes del vehículo y que pudiesen afectar a la carga.
- ✓ Que todo el personal involucrado en la descarga tenga y use todo el equipo de protección personal necesario según los requerimientos de las hojas de seguridad del producto.
- ✓ Durante el proceso de descarga, evitar que el material se derrame o se escape. Evitar también rozamientos o cualquier otra situación que ocasione derrames o incendios.
- ✓ Que todo el personal que efectúe las maniobras de descarga de productos químicos, cuente con un adiestramiento adecuado y conocimiento sobre los productos que maneja.

- ✓ Para la descarga colocar la señalización pertinente que dé aviso del peligro.
- ✓ Que en caso de derrame, el interior del vehículo se limpie inmediatamente, recolectando el producto derramado, para evitar que pueda llegar al suelo y producir contaminación. En todo caso, la limpieza y la recolección debe ser hecha antes de que se recepte una nueva carga.
- ✓ Para efectos de limpieza, el transportista es responsable de que el vehículo cuente con materiales e implementos de recolección (palas, escobas, bolsas plásticas de alta resistencia, material absorbente como aserrín, entre otros).
- ✓ Verificar que la cantidad declarada sea igual a la que se descarga. En caso de existir faltantes, se debe notificar a las autoridades que constan en el numeral relativo a prevención y emergencias.
- ✓ La verificación de la cantidad, calidad y seguridad de los productos químicos que se transporta, debe ser realizada por la organización, en el sitio de origen y destino.

Capítulo 3

METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Introducción

Para resolver cada uno de los problemas planteados en esta investigación se ha recopilado toda la información necesaria inmersa en el proceso de distribución. Con el apoyo del personal que trabaja en el CEDI de la empresa objeto de estudio se obtuvo información como: ubicaciones, demandas y pedidos de los clientes; y gracias a la entrevista realizada al Jefe de Operaciones se pudieron conocer todos los procedimientos operacionales que involucra la actividad de distribución de productos químicos.

La optimización de los costos de distribución, implican una serie de actividades para su solución, que van desde el análisis y evaluación de información hasta la implantación de una solución.

Por lo cual, para este trabajo de titulación se ha diseñado un diagrama de flujo de actividades con la metodología a seguir y que es mostrada a continuación en la figura 3.1:

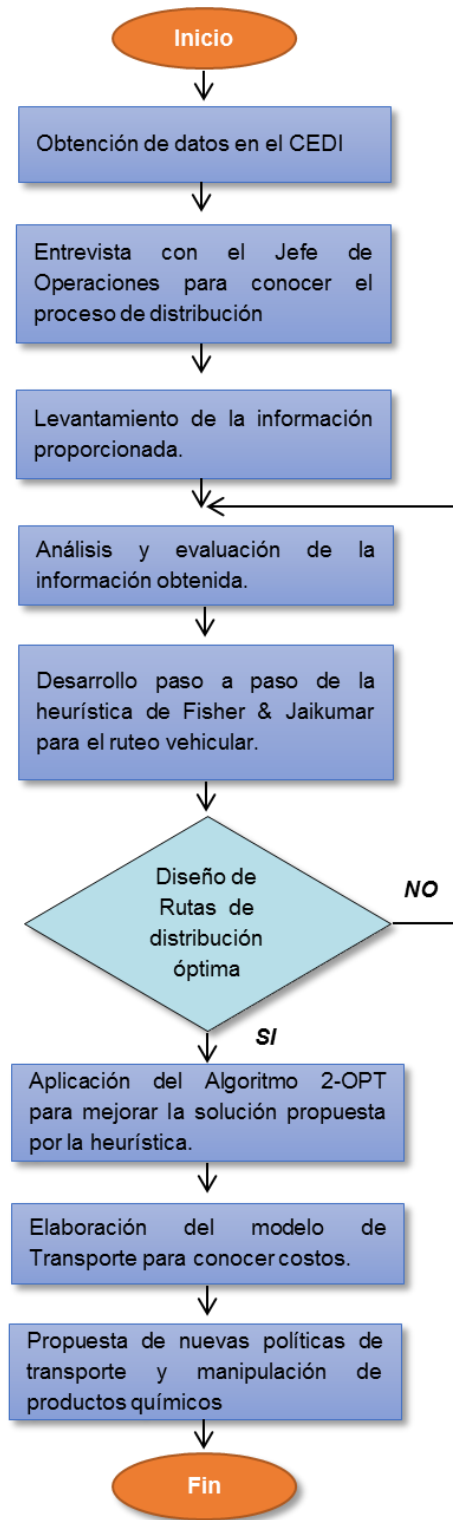


Figura 3.1. Diagrama de Flujo sobre la metodología

Fuente: Creado por los autores

3.2. Cadena de Suministro de áreas afectadas para realizar el estudio

En la figura 3.2 se detallan las áreas y las actividades involucradas en todo el proceso de recopilación de información necesaria para realizar el presente trabajo de titulación.



Figura 3.2. Cadena de Suministro de áreas involucradas

Fuente: Creado por los autores

CEDI

Para el desarrollo de este proyecto, el CEDI es el eslabón fundamental de la cadena de suministro de las áreas afectadas, debido a que es la fuente principal de los datos de entrada como lo son: demandas y ubicaciones de clientes, costos y procedimientos relacionados con la actividad de distribución.

FLOTA VEHICULAR

Este eslabón está implicado en el ruteo vehicular que se diseñará en el proyecto siendo el recurso principal la flota, también será utilizada para nuevas políticas de transporte y manipulación de productos químicos.

CLIENTES

La entrega a tiempo de pedidos y menos errores al momento del embarque, conllevarán a que el nivel de satisfacción tenga una respuesta positiva tanto para los clientes externos como los internos, convirtiéndose éste eslabón el que servirá de retroalimentación.

3.3. Cronograma de actividades

A continuación se detallan las actividades que se han planificado para la elaboración del presente trabajo de titulación, además se describe el período de tiempo en el cual se debe realizar cada una de las actividades. En la figura 3.3 se muestra en un diagrama lo descrito anteriormente.

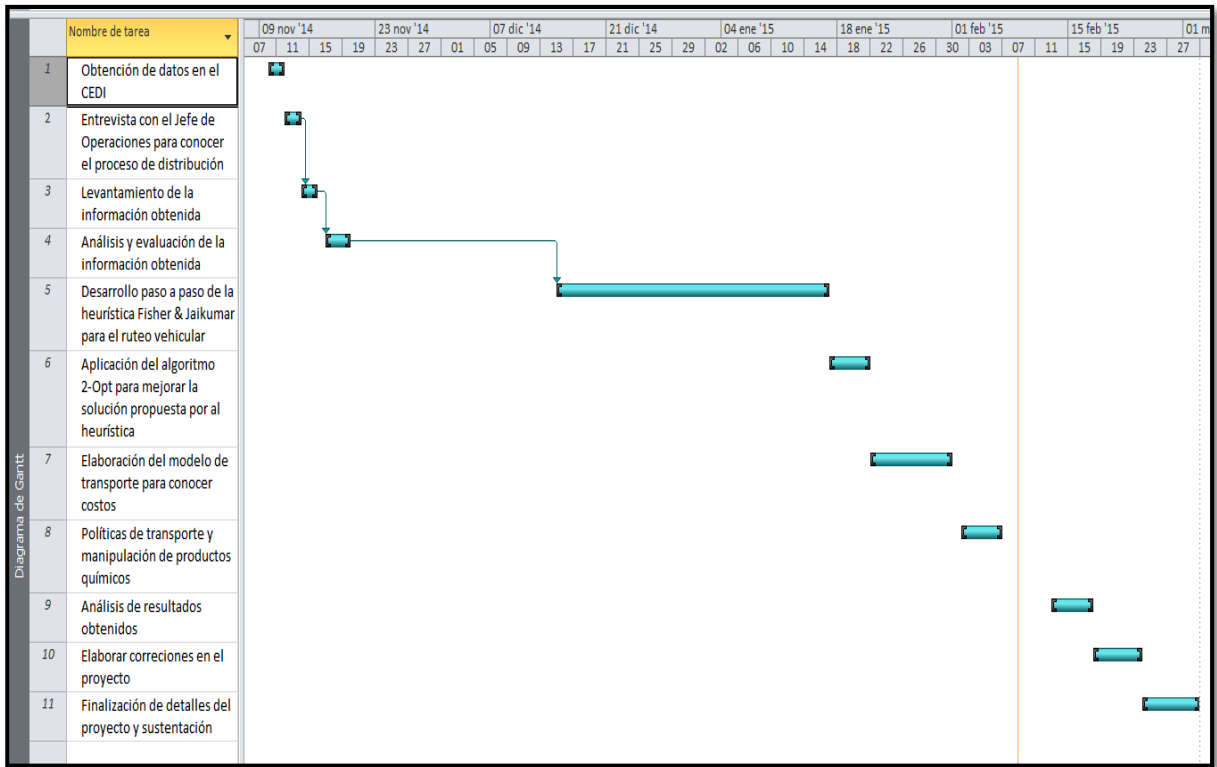


Figura 3.3. Diagrama de actividades
 Fuente: Creado por los autores

3.4. Organigrama de la empresa

Es una representación gráfica de la estructura organizacional de la empresa, en esta se indica en forma esquemática, las áreas que la integran, las líneas de autoridad, relaciones del personal y líneas de asesoría.

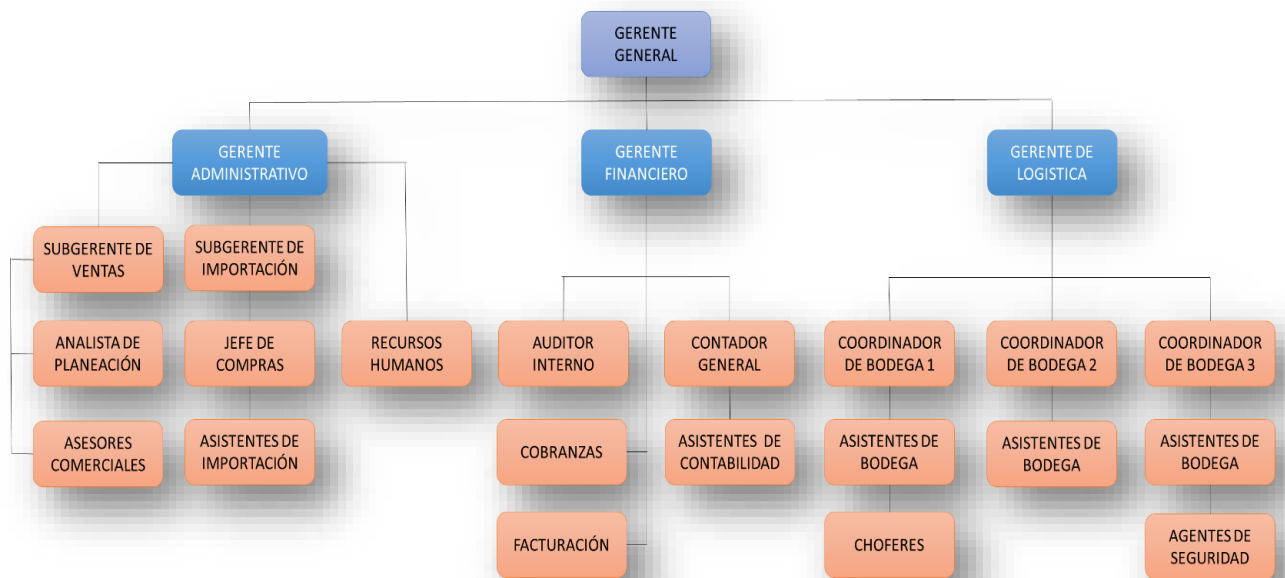


Figura 3.4. Organigrama de la empresa
Fuente: La empresa objeto de estudio

3.4.1. Funciones desempeñadas en los diferentes cargos

Gerente General

- ✓ Liderar el proceso de planeación estratégica de la organización, determinando los factores críticos de éxito, estableciendo los objetivos y metas específicas de la empresa.

- ✓ Desarrollar estrategias generales para alcanzar los objetivos y metas propuestas.
- ✓ Crear un ambiente en el que las personas puedan lograr las metas de grupo con la menor cantidad de tiempo, dinero, materiales, es decir optimizando los recursos disponibles.
- ✓ Implementar una estructura administrativa que contenga los elementos necesarios para el desarrollo de los planes de acción.

Gerente Administrativo

- ✓ Supervisar las actividades realizadas por las demás dependencias de la empresa en pro del cumplimiento de los objetivos organizacionales.
- ✓ Planear, ejecutar y dirigir la gestión administrativa y operativa de la empresa para el manejo de las relaciones con los clientes.

Gerente Financiero

- ✓ Determinar el monto apropiado de fondos que debe manejar la organización (su tamaño y su crecimiento).
- ✓ Definir el destino de los fondos hacia activos específicos de manera eficiente.

- ✓ Obtener fondos en las mejores condiciones posibles, determinando la composición de los pasivos.

Gerente de Logística

- ✓ Planificar la utilización del personal en la bodega teniendo como objetivo responder al plan mensual de ventas.
- ✓ Dirigir al personal de bodega en las labores planificadas.
- ✓ Gestionar la relación con los proveedores y clientes.
- ✓ Obtener retroalimentación del personal para obtener mejoras en los procesos.

Subgerente de Ventas

- ✓ Preparar planes y presupuesto de ventas, reduciendo el riesgo y aumentando la rentabilidad de sus acciones.
- ✓ Calcular la demanda del pronóstico de las ventas.
- ✓ Reclutar, seleccionar y capacitar a los asesores comerciales.
- ✓ Compensar y motivar.

Subgerente de Importación

- ✓ Supervisar a los empleados de importación.
- ✓ Gestionar la importación de mercancías procedentes de otros países.
- ✓ Organizar el transporte y garantizar que los artículos sean enviados por los métodos más convenientes y rentables.
- ✓ Comunicar constantemente a sus clientes, agentes de aduanas y empresas de transporte para asegurar que los envíos lleguen en forma oportuna y en buenas condiciones físicas.

Analista de Planeación

- ✓ Reportar al Subgerente de ventas el pronóstico de las demanda.
- ✓ Analizar la rotación de los productos químicos dentro de la empresa, para verificar posibles caducidades y exceso de mercadería en el área de almacenamiento.
- ✓ Analizar el abastecimiento de mercadería, en conjunto con el departamento de importación.

Asesores Comerciales

- ✓ Cumplir tanto mensual como anualmente con el presupuesto de ventas asignado, buscando brindar una excelente atención, un claro entendimiento y un eficiente manejo de las necesidades de sus clientes.
- ✓ Contribuir permanentemente a propiciar en ellos un alto nivel de satisfacción que asegúrela recompra y/o el cierre exitoso de las diversas negociaciones.

Jefes de Compras

- ✓ Planificar las compras y selección de los proveedores.
- ✓ Supervisar las actividades del personal de compras.
- ✓ Realizar pedidos dependiendo de la necesidad de la empresa.

Asistente de Importación

- ✓ Servir de apoyo al jefe de compras.
- ✓ coordinar, vigilar y velar por la entrega a tiempo y en buenas condiciones de cada pedido realizado de las diferentes líneas de productos.

Recursos Humanos

- ✓ Contratar, formar, motivar a los empleados.
- ✓ Garantizar el cumplimiento de las leyes laborales
- ✓ Gestionar los beneficios y administrar los conflictos dentro de la organización.

Auditor Interno

- ✓ Definir objetivos, alcances, metodología e informes.
- ✓ Cumplir con políticas, planes, procedimientos, normas y reglamentos.
- ✓ Revisar los sistemas establecidos para verificar el cumplimiento de lo indicado y tener un impacto significativo en las operaciones e informes y determinar si la organización los cumple.

Contador General

- ✓ Planificar, organizar y coordinar el área contable, con el objetivo de obtener las consolidaciones y estados financieros requeridos por la organización.
- ✓ Establecer y coordinar la ejecución de las políticas relacionadas con el área contable, asegurándose que se cumplan los principios de contabilidad generalmente aceptados y con las políticas específicas de la empresa.

- ✓ Elaborar y controlar la labor presupuestaria y de costos.

Asistente de Contabilidad

- ✓ Reportar sus actividades diarias con el contador general
- ✓ Recibir, examinar, clasificar, codificar y efectuar el registro contable de documentos.
- ✓ Revisar y comparar lista de pagos, comprobantes, cheques y otros registros con las cuentas respectivas.
- ✓ Archivar documentos contables para uso y control interno.
- ✓ Elaborar y verificar relaciones de gastos e ingresos.

Cobranzas

- ✓ Coordinar y supervisar el proceso de recuperación de cuentas por cobrar, y verificar su registro.
- ✓ Diseñar, proponer e implementar controles administrativos que permitan reducir las cuentas incobrables.
- ✓ Supervisar y validar las notas de crédito y cargo de acuerdo con la normatividad aplicable.

- ✓ Efectuar la investigación crediticia de posibles clientes para el otorgamiento de créditos.

Facturación

- ✓ Realizar la facturación de los productos requeridos por los clientes, para luego emitir una guía de remisión con el cual el usuario podrá acceder a su compra.
- ✓ Verificar la facturación de los servicios proporcionados para asegurar la aplicación correcta de las tarifas.
- ✓ Relacionar la facturación mensual por entidades.
- ✓ Atender las peticiones, quejas y reclamos de los usuarios de manera amable y Eficaz.
- ✓ Proporcionar información de los ingresos cobrados por tipo de servicio para el seguimiento presupuesto.
- ✓ Elaborar reportes mensuales de ingresos y facturas canceladas.

Coordinador de Bodega 1

- ✓ Verificar el despacho y recepción de los productos químicos dentro del área de almacenamiento

- ✓ Supervisar la embarcación y manipulación de la mercadería en la flota antes de ser distribuida.
- ✓ Aplicar medidas de seguridad industrial
- ✓ Controlar el inventario mensual de los productos almacenados dentro de la bodega.
- ✓ Planificar la distribución de los productos químicos a sus respectivos clientes.

Coordinador de Bodega 2

- ✓ Verificar el despacho y recepción de los productos químicos dentro del área de almacenamiento
- ✓ Supervisar la embarcación y manipulación de la mercadería en la flota antes de ser distribuida.
- ✓ Aplicar medidas de seguridad industrial
- ✓ Controlar el inventario mensual de los productos almacenados dentro de la bodega.

Coordinador de Bodega 3

- ✓ Verificar el despacho y recepción de los productos químicos dentro del área de almacenamiento

- ✓ Supervisar la embarcación y manipulación de la mercadería en la flota antes de ser distribuida.
- ✓ Aplicar medidas de seguridad industrial.
- ✓ Controlar el inventario mensual de los productos almacenados dentro de la bodega.
- ✓ Supervisar el personal de seguridad (guardianía).

Asistente de Bodega

- ✓ Realizar las operaciones auxiliares de bodega de recepción, almacenamiento y despacho de mercancías, de forma coordinada o en equipo, de acuerdo a instrucciones y procedimientos establecidos.
- ✓ Utilizar recursos informáticos y equipos de traslado manual de carga, respetando las normas de higiene, seguridad y prevención de riesgos.

Choferes

- ✓ Distribuir en los vehículos de la flota, los productos químicos de la empresa.
- ✓ Realizar un control del mantenimiento de sus vehículos.
- ✓ Manipular los productos respetando las normas establecidas por la empresa.

Agentes de seguridad

- ✓ Cumplir el reglamento interior de la empresa
- ✓ Salvaguardar los bienes existentes dentro de la empresa.
- ✓ Mantener un trato amable con el personal, clientes y proveedores.
- ✓ Mantener el control y orden de la empresa.

Capítulo 4

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Introducción

En este capítulo se dará solución a cada uno de los problemas planteados anteriormente, para ello, es muy importante el uso de un software de programación avanzada y optimización matemática. En este trabajo de titulación se utilizaron las aplicaciones *Mathematica 10* y *Gams*.

Como se explicó anteriormente la heurística de Fisher & Jaikumar es un método de dos fases, la primera fase es un GAP, el cual se resolvió con *Gams*, que dio como resultado la asignación de los clientes a cada uno de los cluster que al final representarán el número de. La solución del TSP para cada uno de los cluster fue realizada con *Mathematica* dando como resultado las rutas que deben seguir los vehículos para la distribución de los productos.

4.2. Aplicación de la Heurística de Fisher & Jaikumar

Para la resolución del problema vehicular se etiquetará a los clientes con una nomenclatura que facilitará el ingreso de datos a cada una de las aplicaciones antes mencionadas. A continuación en la tabla 4.1 se muestra lo mencionado y

otros datos relevantes que serán usados para la heurística como la demanda y dirección de cada cliente, aparte de la ubicación en longitud y latitud:

Ncliente	Longitud	Latitud	Dirección	Demanda (Kg)
2	-79,879367	-2,143784	CTRO COMERCIAL EL TERMINAL BLOQUE F OFIC	8993
3	-79,932246	-2,137078	KM 7,5 VIA DAULE	8262
4	-79,829606	-2,178130	KM 1,5 VIA DURAN TAMBO AV PRINCIPAL ELOY ALFARO	6502
5	-79,935025	-2,135586	KM 7,7 VIA DAULE	4931
6	-79,934517	-2,113436	INMACONSA.- CALLE EUCALIPTO SOLAR 2 VIA DAULE KM 19,5 JUNTO A LA TABACALERA SAN JUAN	3554
7	-79,938750	-2,172889	KM 6 1/2 VIA A LA COSTA	3597
8	-79,892454	-2,200030	AVENIDA QUITO 2223 Y CAPITAN NAJERA	3377
9	-79,916862	-2,094310	Cdla Las Orquídeas mz 28 villa 21	2353
10	-79,980421	-2,184036	Km 11,5 vía a la costa Urb. Torres del Salado	2351
11	-79,946261	-2,151056	DAULE - BOD 7 VIA PERIMETRAL KM 22 JUNTO A LA EMPRESA AQUA	2210
12	-79,913024	-2,094435	Cdla Guayacanes mz 136 v8	2145
13	-79,936923	-2,139875	KM 6,5 AV 3ERA Y VIA DAULE	2093
14	-79,943317	-2,077488	Km 16 1/2 Via a Daule	2025
15	-79,884629	-2,204546	Eloy Alfaro 1103 y G. Rendón	1903
16	-79,940593	-2,118127	URB. INMACONSA CALLE CASUARINAS Y CEDROS DIAGONAL COLEGIO LEONIDAS GARCIA KM 10 VIA DAULE	1767
17	-79,943667	-2,113342	Cdla. Inmaconsa Solar 10 Mz D km 11,5	1611
18	-79,932501	-2,148889	VIA A DAULE KM 5,5 CUARTA S/N Y CALLE SEPTIMA	1527
19	-79,825757	-2,191043	LOTIZACION PREDIO SANTAY SOLAR 15 MZ A-1	1319
20	-79,887996	-2,216889	AV. DOMINGO COMIN 135 Y EL ORO	1317
21	-79,925984	-2,199525	38 AVA 921 Y PORTETE	1178
22	-79,893644	-2,151976	Cdla Vernaza Norte mz 14 # 2	1168
23	-79,929234	-2,157408	MAPASINGUE OESTE CALLE 5TA Y AVE 3RA	1090
24	-79,932491	-2,111648	VIA A DAULE KM. 9 1/2	1047
25	-80,038375	-2,191712	Km 24A Via a la Costa- Solar 10	980
26	-79,895372	-2,206254	PRIMERO MAYO 218 AV MACHALA	952
27	-79,940091	-2,111844	KM 10 VIA DAULE CALLE CEDROS Y CASUARINA	914
28	-79,926532	-2,072768	Pascuales Urb.Vilcabamba Mz 157 Solar 8	890
29	-79,933768	-2,131609	VIA A DAULE KM 7,5 S/N	855
30	-80,010766	-2,185216	Km 19,5 Via a la Costa	840
31	-79,912894	-2,176028	AV LAS MONJAS Y AV CARLOS JULIO AROSEMENA	812
32	-79,936082	-2,113794	Km 9,5 Via a Daule y Calle Cedros	790
33	-79,931950	-2,152876	Km 5,5 Via a Duale	795
34	-79,930815	-2,126261	VIA A DAULE KM 7-5 AV. PRIMERA 105 Y CALLE ONCE	764
35	-79,908034	-2,144698	Alborada 6ta etapa mz 644 villa 9	762
36	-79,881333	-2,251986	VERGELES OESTE AVDA. LAS PALMAS S/N A LADO DE IND. FISA	748
37	-79,892687	-2,257797	Av. Las Esclusas km 3.5 Via Hacienda Josefina	744
38	-79,934102	-2,116701	AVDA. CASUARINAS No.100 Parque Inmaconsa Via Daule km. 10,5	709
39	-79,951043	-2,057215	Via A Daule Km 16,5 Acero S/N	707
40	-79,933927	-2,146337	Via a Daule km 4,5 segunda solar 43 D y av 3era y 4 ta	697
41	-79,891654	-2,152504	CDLA VERNAZA NORTE SOLAR 21 MAZ 12	697
42	-79,894899	-2,213627	Ei Oro # 1301 y Guaranda	694
43	-79,940992	-2,075803	km. 15,5 vía a Daule	681
44	-79,896924	-2,125276	SAUCES 6 MZ 259 F8 VILLA 7	673
45	-79,914200	-2,112540	LOTIZACION ADESDAC MZ. 50 SOLAR 6	792
46	-79,893318	-2,138894	AV 10 DE AGOSTO N.236 PORTOVELO	653
47	-79,924125	-2,198652	Argentina 5421 y la 37 Ava.	652
48	-79,905107	-2,223248	VIA A DAULE KM 9,5 ACACIAS S/N Y CEDROS - CEIBOS	811
49	-79,934799	-2,102857	VIA DAULE KM 12,5	647
50	-79,933679	-2,139182	CALLE TERCERA Y AV. JUAN TANCA MARENGO KM 6 1/2	636
51	-79,885374	-2,198230	Calixto Romero 330 Noguchi y Pedro Lavayen	632
52	-79,897971	-2,200346	BRASIL 2102 Y ESMERALDAS	921
53	-79,885772	-2,170788	Cdla Atarazana - Av. Carlos Luis Plaza Dañin s/n y Av. Democracia	614
54	-79,939003	-2,102136	PARQUE INDUSTRIAL KM 11,5 VIA DAULE	611
55	-79,936298	-2,104027	Km 10 1/2 Via Daule Calle Mirtos y Casuarima local c Lotiz. Inmaconsa	608
56	-79,934560	-2,138249	Via Daule km 6 Solar 1	545
57	-79,892435	-2,151989	Cdla Vernaza Norte Mz 12 Solar # 21	543
58	-79,933298	-2,135041	Via a Daule Km 7 1/2 s/n	801
59	-79,849514	-2,185887	Ciudadela los helechos mz.d1 solar 08	502
60	-79,893631	-2,261290	Avda. 25 de Julio.- atras de la campaña Transmabo	501

Tabla 4.1. Datos principales para la heurística
Fuente: Creado por los autores

Como se observa los clientes serán enumerados desde el 2 hasta el 60, la cantidad de clientes con la cual se trabajará es de 59, en la tabla no se muestra el CEDI pero tendrá la etiqueta del número 1.

4.2.1. Fase I: Asignación Generalizada

Para iniciar con la heurística de Fisher & Jaikumar se va a establecer cuáles serán los clientes semillas, los mismos que pueden ser elegidos resolviendo el problema de optimización de la Diversidad Máxima, pero, como la solución proporcionada por la heurística será mejorada con el algoritmo de 2-Opt los clientes semillas fueron elegidos aleatoriamente de cada zona de Guayaquil (Vía a la Costa, Centro, Noroeste, Sur, Norte).

Clientes semillas	
Ncliente	Dirección
2	CTRO COMERCIAL EL TERMINAL BLOQUE F OFIC
8	AVENIDA QUITO 2223 Y CAPITAN NAJERA
18	VIA A DAULE KM 5.5 CUARTA S/N Y CALLE SEPTIMA
26	PRIMERO MAYO 218 AV MACHALA
36	VERGELES OESTE AVDA. LAS PALMAS S/N A LADO DE IND. FISA
48	VIA A DAULE KM 9.5 ACACIAS S/N Y CEDROS - CEIBOS
59	Ciudadela los helechos mz.d1 solar 08

Tabla 4.2. Clientes Semillas
Fuente: Creado por los autores

Estos clientes semillas se traducen en 7 cluster que posteriormente serán el número de rutas que deber recorrer los vehículos.

Una vez establecidos los clusters se procedió a asignar los clientes a cada uno respectivamente, utilizando los siguientes datos principales:

- ✓ La matriz de ahorro de cada cliente relacionada con cada cluster (calculada a partir de la fórmula mencionada en el marco conceptual de la sección 2.3.4.4.). (ver Anexo B)
- ✓ La demanda de cada uno de los clientes. (Las tablas correspondientes se adjuntaran en el Anexos A).

Con esta información se procede a programar la asignación de clientes usando *Gams*, dando como resultado la información que se muestra en la tabla 4.3:

CLUSTERS						
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7
2	8	13	11	9	3	4
5	18	16	12	10	6	7
29	22	17	21	15	14	19
	25	24	23	20	48	28
	27	39	26	36		59
	31	49	30	37		
	32		33	38		
	33		34	41		
	35		40	42		
	45		43	51		
	46		44	53		
	47		50	55		
	54		52	60		
	56					
	57					
	58					

Tabla 4.3. Asignación de los clientes a cada cluster
Fuente: Creado por los autores

4.2.2. Fase II: TSP para cada cluster

Con la asignación de clientes a cada cluster ya establecido, se procede a resolver el TSP para cada cluster, lo cual representará cada ruta a recorrer. Los datos principales para su resolución son:

- ✓ La matriz de distancias entre clientes y el CEDI o viceversa, que fueron calculadas utilizando la métrica de Manhattan con la ayuda de *Mathematica*
- ✓ Las coordenadas de cada cliente y del CEDI, obtenidas a partir de la dirección proporcionada por la empresa más la ayuda de Google Maps.

Las tablas correspondientes a distancias y coordenadas se adjuntaron en los Anexos C y D respectivamente. Ya realizada la programación del TSP para cada ruta en *Mathematica 10*, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 4.4, cabe recalcar que el número de rutas resultante será igual al número de vehículos para la repartición de productos.

Rutas	Recorrido	Distancia (Km)
Ruta 1	1-29-5-2-1	16,9
Ruta 2	1-32-27-54-45-35-46-22-57-33-18-56-58-31-47-8-25-1	64,9
Ruta 3	1-16-17-24-49-13-39-1	24,8
Ruta 4	1-34-50-40-33-23-11-21-52-26-44-12-43-30-1	68,2
Ruta 5	1-38-55-9-41-53-51-15-20-42-37-60-36-10-1	56,4
Ruta 6	1-6-3-14-48-1	42,3
Ruta 7	1-28-7-59-4-19-1	49,7
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA (Km)		323,2

Tabla 4.4. TSP para cada cluster
Fuente: Creado por los autores

En la figura 4.1 se muestra gráficamente cual es el recorrido para cada uno de los cluster:

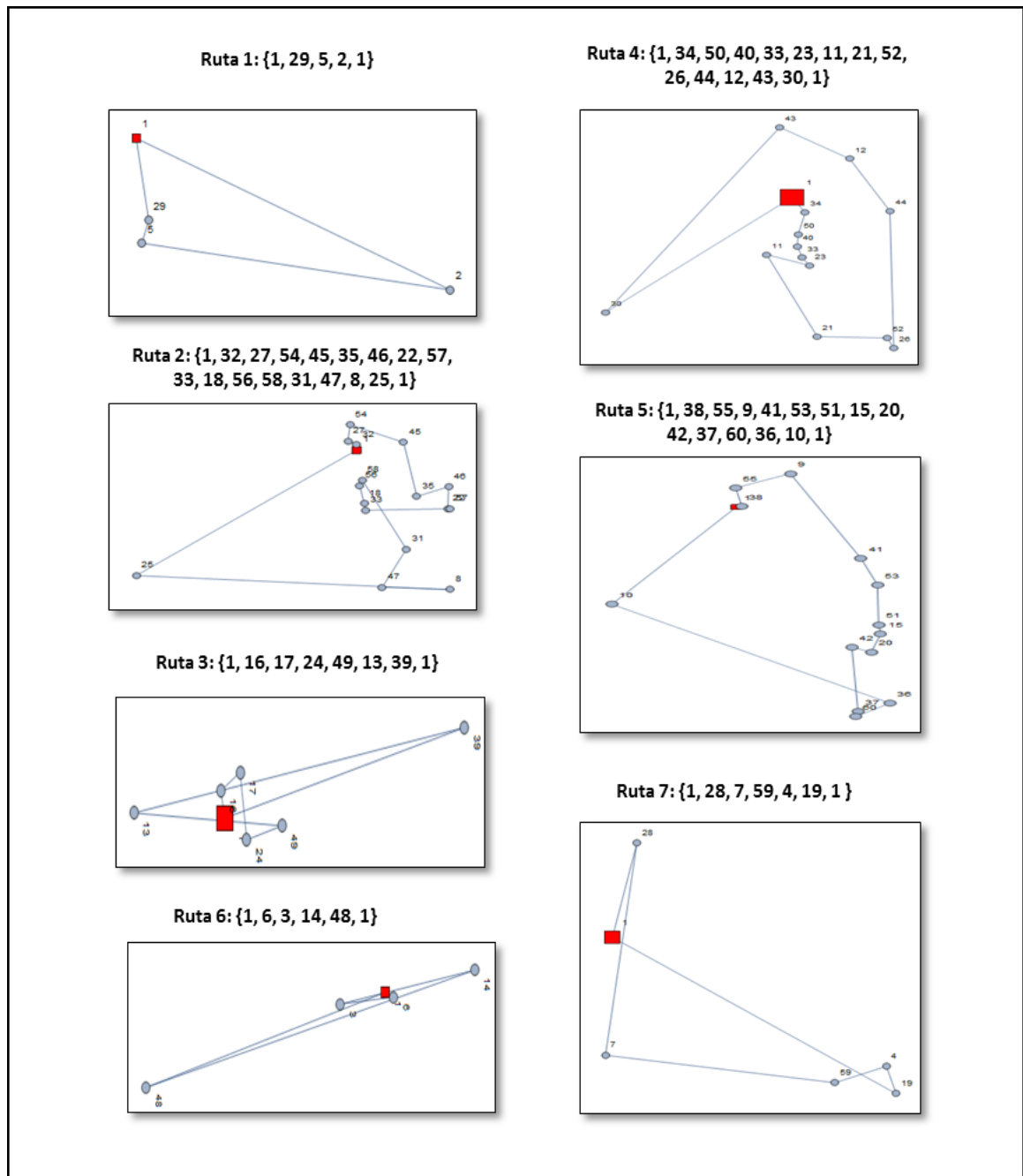


Figura 4.1. TSP para cada cluster
Fuente: Creado por los autores

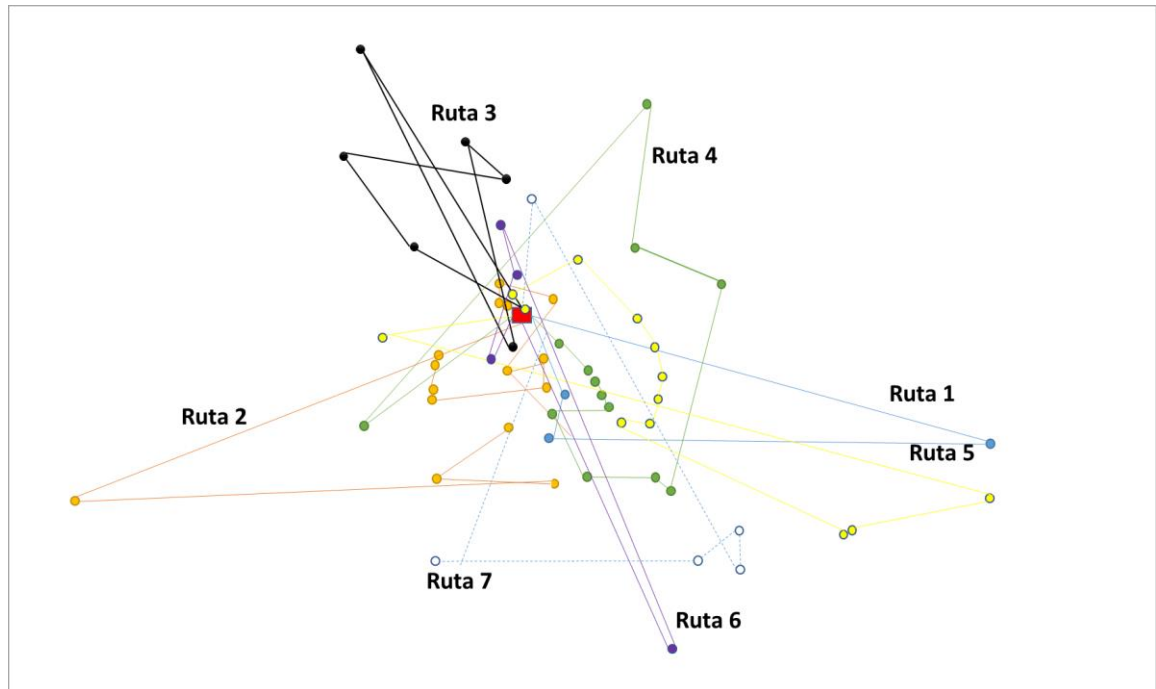


Figura 4.2. Todas las rutas de cada cluster
Fuente: Creado por los autores

4.3. Aplicación del Algoritmo de 2-Opt

El método de Fisher & Jaikumar proporcionó una solución factible y próxima al óptimo dado que es una heurística, está comprobado estadísticamente que esta heurística da un resultado de 25% del óptimo, es por esto que existen varias técnicas para mejorar estos resultados y llegar a una respuesta más cercana a la óptima. En este trabajo de titulación se ha elegido el algoritmo de mejora de 2-opt explicado en capítulos anteriores.

Este algoritmo parte de una solución inicial, por lo que se tomará como solución inicial la que propone la heurística, a continuación se muestran los resultados en la tabla 4.5:

Rutas	Recorrido	Distancia (Km)
Ruta 1	1-29-2-5-1	16,7
Ruta 2	1-32-27-54-45-58-56-18-33-57-22-46-35-31-8-47-25-1	60,5
Ruta 3	1-24-49-39-17-16-13-1	20,3
Ruta 4	1-34-50-40-33-23-11-30-21-52-26-44-12-43-1	53,5
Ruta 5	1-38-55-9-41-53-51-15-20-36-37-60-42-10-1	54,2
Ruta 6	1-14-6-3-48-1	36,8
Ruta 7	1-28-4-19-59-7-1	46,2
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA (Km)		288,2

Tabla 4.5. Rutas mejoradas con 2-Opt
Fuente: Creado por los autores

En la figura 4.3 se puede observar gráficamente el intercambio que se obtuvo aplicando este algoritmo.

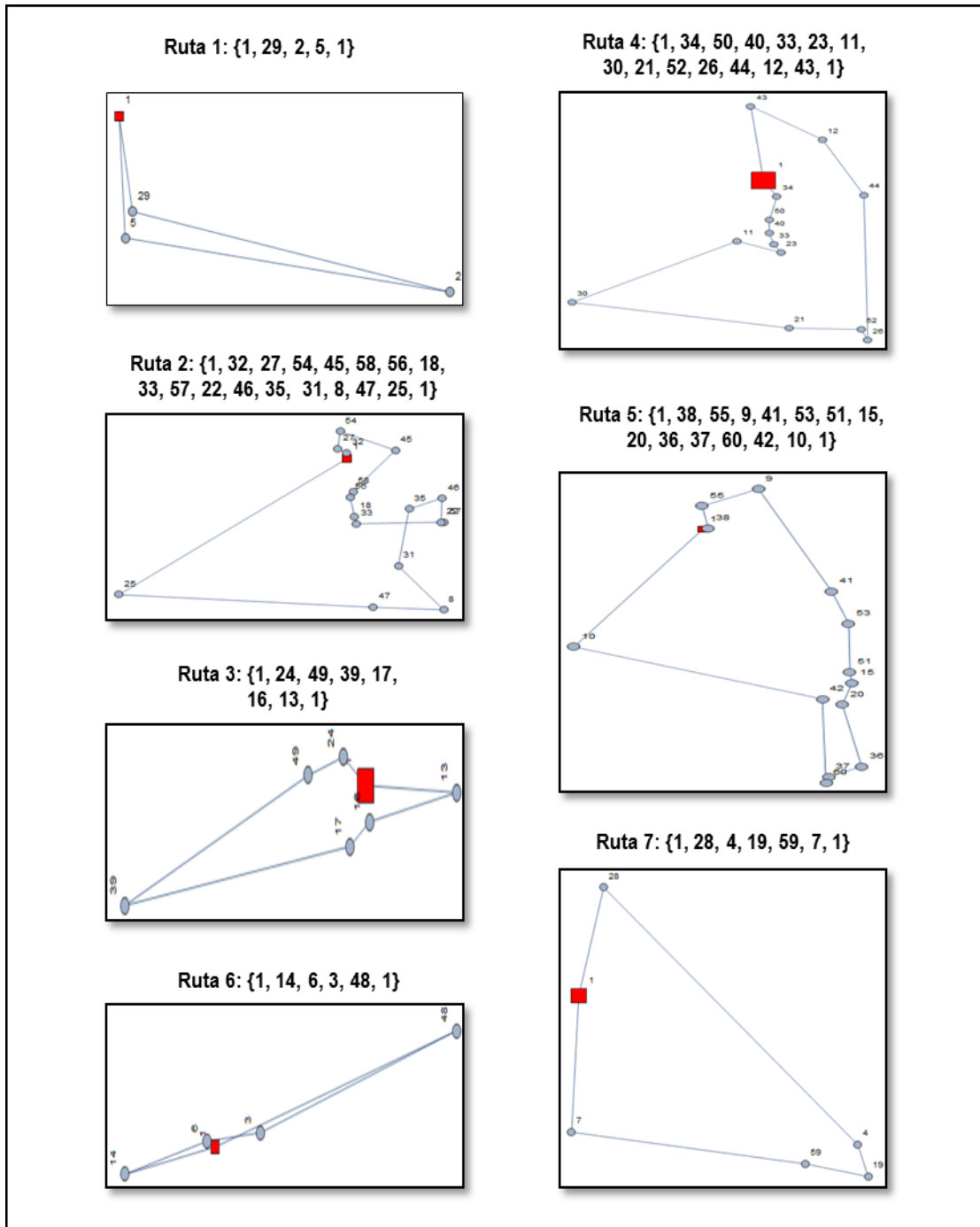


Figura 4.3. Rutas mejoradas con 2-Opt
Fuente: Creado por los autores

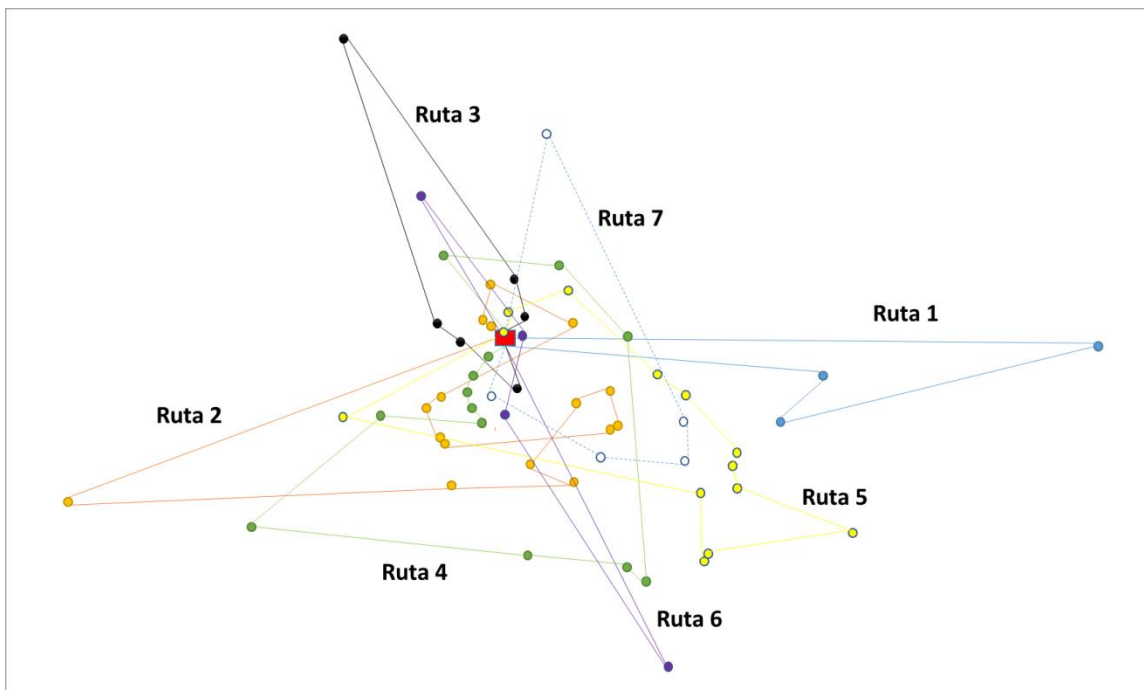


Figura 4.4. Todas las rutas mejoradas con 2-Opt
Fuente: Creado por los autores

4.4. Análisis comparativo

Rutas	Distancia (Km)		% Mejora
	Fisher & Jaikumar	Algoritmo 2-Opt	
Ruta 1	16,9	16,7	1,18%
Ruta 2	64,9	60,5	6,78%
Ruta 3	24,8	20,3	18,15%
Ruta 4	68,2	53,5	21,55%
Ruta 5	56,4	54,2	3,90%
Ruta 6	42,3	36,8	13,00%
Ruta 7	49,7	46,2	7,04%
Total	323,2	288,2	10,83%

Tabla 4.6. Análisis comparativo entre Fisher & Jaikumar y 2-Opt
Fuente: Creado por los autores

En el análisis comparativo se puede observar que la heurística Fisher & Jakumar es mejorada porcentualmente por el algoritmo 2 - Opt en cada una de sus rutas como muestra la tabla 4.5, además el recorrido total en kilómetros tiene una mejora porcentual de 10,83 %.

4.5. Resultados del modelo tarifario

A continuación, se muestran los valores que se encontraron para los costos fijos y los costos variables.

Costos fijos

		HINO 15 TM
Chasis	Compra	81.500,00
Furgón	Compra	15.500,00
Chasis + Furgón	al año (vida útil 5 años)	9.700,00
Matrícula	2,50% al año	2.037,50
Seguro	4,50% al año	3.667,50
Baterías	Compra	700,00
Baterías	al año (vida útil 1 años)	1.400,00
Sueldo chofer + ayudante	Mensuales	900,00
Sueldo chofer + ayudante	al año	17.280,00
Lavado	36 lavadas a año	360,00
Mantenimiento anual	6,00% valor del chasis + furgón	5.820,00
Total Costos Fijos	al año	40.265,00
Total Costos Fijos diario	312 días al año	129,05

Tabla 4.7. Costos fijos del vehículo
Fuente: Creado por los autores

Costos Variables

		HINO 15 TM
Consumo de Combustible	\$/km	0,05
Precio del diésel	1,04 usd/galón	
Rendimiento	km/galón	20,00
Terreno Plano	\$/km	0,05
Rendimiento	km/galón	17,65
Pista con gradiente mediana	\$/km	0,06
Rendimiento	km/galón	15,88
Pista con gradiente pronunciada	\$/km	0,07
Consumo de llantas	\$/km	0,030
Rendimiento por llanta	Km	80.000,00
Precio de llantas	Unit	365,00
Cantidad de llantas		6,00
Rendimiento en mal estado	%	10%
Carretera en mal estado	\$/km	0,030
Rendimiento en buen estado	%	2%
Carretera en buen estado	\$/km	0,028
Consumo de lubricantes	S/km	0,06
Aceite Motor		
Precio por galón		23,25
Consumo (galón/km)		6
A pagar	\$/km	0,03
Aceite Caja		
Precio por galón		10,20
Consumo (galón/km)		11 gls/4000km
A pagar		0,03
Consumo de filtros	S/km	0,01

Filtro de aceite		
Precio por filtro		23,00
Consumo (und/km)		1 und/5000km
A pagar		0,005
Filtro de Combustible		
Precio por filtro		18,00
Consumo (und/km)		0 und/6000km
A pagar		0,003
Filtro de aire		
Precio por filtro		180,00
Consumo (und/km)		0 und/50000km
A pagar		0,004
Total Costos Variables	S/km	0,16

Tabla 4.8. Costos variables del vehículo
Fuente: Creado por los autores

Después de obtener los costos fijos y variables del vehículo se plantea una función lineal. En la que se obtendrá los kilómetros recorridos desde el CEDI hacia los clientes y viceversa, estos kilómetros se van a representar por la variable K.

	HINO 15
Costos fijos	129.05
Costos Variables	0.16
Costo Total	129.05 + 0.16* K

Tabla 4.9. Costos del modelo tarifario diario
Fuente: Creado por los autores

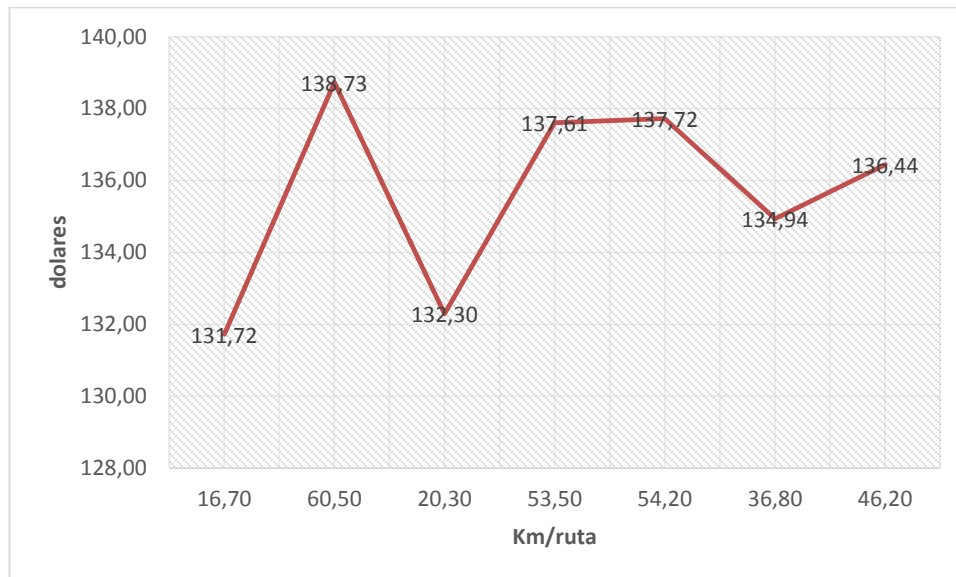


Figura 4.5. Función lineal de las rutas
Fuente: Creado por los autores

4.6. Análisis de resultado de costos

Rutas	Distancia (Km)	Costos (\$)
1	16,70	131,72
2	60,50	138,73
3	20,30	132,30
4	53,50	137,61
5	54,20	137,72
6	36,80	134,94
7	46,20	136,44

Tabla 4.10. Análisis de resultados de costos
Fuente: Creado por los autores

En la tabla 4.9 se puede observar los costos en dólares de cada una de las rutas utilizando los datos finales de la tabla 4.8, donde verificamos que el total de costo de las rutas es de \$ 949,46 el cual es muy beneficioso para la empresa debido que actualmente gastan aproximadamente \$ 1200 diarios en las actividades de transportación y además no satisfacen al 100 % la demanda.

En la tabla 4.11 se detallan la solución final del problema:

	# Vehículos	Distancia (Km)	Costo (\$)
Situación Actual	8	496,8	1111,89
Propuesta	7	288,2	949,46

Tabla 4.11. Resultados Finales
Fuente: Creado por los autores

4.7. Implementación de las políticas de transporte y manipulación de productos químicos

Procedimiento a seguir:	Resultados
1.- Conocer los peligros del producto a la salud del personal	La persona encargada de manipular o transportar los productos tendrá un mayor cuidado y prevención, a su vez evitara accidentes y enfermedades ocupacionales
2.- Disponer de la hoja de Datos Químicos MSDS (ver en el Anexo F), que obligatoriamente debe proveer el fabricante.	Es un documento que indica las particularidades y propiedades de una determinada sustancia para tener un uso adecuado de los químicos
3.- Utilizar envases adecuados para la sustancia	Esto evitara que se produzca algún tipo de derrame del producto químicos en el área de almacenamiento o al momento de realizar los despachos
4.- Etiquetar y rotular todo recipiente y medio de transporte con el fin de identificar el peligro así como las medidas en caso de una emergencia (ver en los Anexo G y H)	Las etiquetas y señalización de seguridad dará prevención del producto el cual se transportara o manipulara
5.- Capacitar a los trabajadores sobre los medios de manipulación	Una constante capacitación al personal consolidara la adecuada manipulación y transportación de productos químicos, además de actualizarse en dicha labor
6.- Verificar la compatibilidad al momento de cargar los productos químicos en los vehículos (Ver en los Anexos I y J)	La clasificación de los productos químicos de acuerdo a su compatibilidad evitara posibles accidentes y explosiones inflamables o toxicas
7.- Utilizar equipos de protección personal para manipular productos químicos (Ver en el Anexo K)	Dara una protección adecuada al personal y evitara posibles accidentes que a su vez con lleva una buena manipulación de los productos y un alto estándar de calidad

Tabla 4.12. Procedimiento para la implementación de políticas
Fuente: Creado por los autores

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Este trabajo ha sido realizado con el propósito de conseguir un método de ruteo para poder optimizar la entrega en el CEDI, debido a que por la demanda de los clientes, no se alcanzaba a visitar a todos los puntos de entrega y de esta manera se generaban insatisfacción por parte de ellos.
- Mediante el uso de la heurística de Fisher & Jaikumar, se logró encontrar una solución factible para el problema de ruteo vehicular de la empresa. Cabe destacar que dicha solución puede mejorar al momento de seleccionar los clientes semilla.
- Después de haber resuelto el problema de ruteo vehicular para la empresa objeto de estudio, se puede notar que hubo un ahorro, tanto en el número de vehículos que realizaban la actividad de distribución, reduciendo de 8 a 7 vehículos, y en la distancia total recorrida, mejorándola en un 42 % con la situación actual.

- En los clusters que tenían más clientes asignados, el algoritmo de 2-Opt generaba un mejor resultado, llegando a mejorar una solución hasta en un 20% en comparación con la solución inicial.

5.2. Recomendaciones

- Para proyectos futuros relacionados con la heurística de Fisher & Jaikumar, para resolver el CVRP, se recomienda resolver el problema de diversidad máxima, para la elección de los clientes semillas, lo cual generará una solución próxima a la óptima.
- Se recomienda realizar una exploración exhaustiva de las rutas proporcionadas por el algoritmo de 2-Opt, para medir la calidad de las respuestas, ya que en ocasiones las soluciones de este algoritmo no suelen ser las óptimas.
- El modelo tarifario de transporte tiene componentes importantes que en ocasiones no son considerados para su realización, por eso se recomienda que se incluyan impuestos, tasas u otro tipo de recargos por rodamientos, que existen en ciertas ciudades.
- En el presente trabajo, se ha considerado un modelo de rutas con flota de capacidad homogénea pero se puede extender a un problema de capacidad heterogénea, con esto llevaría a tener un parámetro más en el problema planteado, que sería la capacidad de cada camión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] *AmiLab - UAM (Universidad Autónoma de Madrid)*. (21 de Octubre de 2011).

Consultado el 14 de diciembre de 2014, de Sitio Web AmiLab:

<http://amilab.ii.uam.es/doku.php?id=talf2>.

[2] *R. Neapolitan y K. Naimipour. Foundations of algorithms. Jones and Bartlett Publishers, 1997.*

[3] WILLIAM J. Cook, WILLIAM H. Cunningham, WILLIAM R. Pulleyblank, SCHRIJVER Alexander; *Combinatorial Optimization; John Wiley & Sons; 1 edition (November 12, 1997).*

[4] *Revista EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia), Medellín-Colombia. (Diciembre 2009). Consultado el 14 de noviembre de 2014 del sitio web:*

<http://revista.eia.edu.co/articulos12/EIA%2012%20%28pag.%2023-38%29.pdf>

[5] OLIVERA, Alfredo, *Heurística para Problemas de Ruteo de Vehículos, Montevideo-Uruguay, (Agosto 2014). Consultado el 17 de noviembre de 2014 del sitio web:*

<https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

[6] Pérez Villacís, Mercy Elizabeth. (2013). *Modelo tarifario para monopolios públicos, caso de estudio: Empresa Pública Metropolitana de Aseo - Emaseo EP.* Quito - Ecuador

[7] M^a del Carmen Delgado, Pablo Cortés, Alejandro Escudero, Jesús Muñuzuri. (2011). *Una búsqueda tabú para el Bin Packing Problem.* Sevilla – España

[8] Rafael Martí. (2012). *Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria.* Universidad de Valencia. Valencia – España[^]

[9] Luis Vásquez Z. (2012). *Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos Peligrosos.* Quito – Ecuador. Consultado el 08 de febrero del 2015 del sitio web <http://www.cip.org.ec/attachments/article/112/INEN-2266.pdf>

ANEXOS

Anexo A

Demanda de los clientes

Ncliente	Demanda
2	8993
3	8262
4	6502
5	4931
6	3554
7	3597
8	3377
9	2353
10	2351
11	2210
12	2145
13	2093
14	2025
15	1903
16	1767
17	1611
18	1527
19	1319
20	1317
21	1178
22	1168
23	1090
24	1047
25	980
26	952
27	914
28	890
29	855
30	840

Ncliente	Demanda
31	812
32	790
33	795
34	764
35	762
36	748
37	744
38	709
39	707
40	697
41	6977
42	694
43	681
44	673
45	792
46	653
47	652
48	811
49	647
50	636
51	632
52	921
53	614
54	611
55	608
56	545
57	543
58	801
59	502
60	501

33	1,82	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,18	0,00	4,89	0,00	0,00	0,00	0,00
36	21,64	12,62	30,85	11,95	0,00	10,50	13,22
37	22,80	11,55	29,74	10,85	1,16	9,39	14,38
38	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
39	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
40	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	1,74	0,16	8,89	0,74	0,00	2,69	0,00
42	13,97	2,72	20,47	1,57	0,00	2,04	5,55
43	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
44	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00	1,64	0,00
45	0,93	0,93	4,59	0,93	0,93	0,93	0,93
46	0,00	0,00	7,84	0,41	0,00	2,36	0,00
47	10,97	0,00	11,63	0,00	0,00	0,00	2,55
48	15,89	4,64	20,35	3,40	0,00	0,00	7,47
49	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	10,89	1,42	19,29	2,00	0,00	3,95	2,47
52	11,31	0,06	17,20	0,00	0,00	1,43	2,89
53	5,40	1,34	13,73	1,92	0,00	3,87	0,00
54	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
55	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	1,64	0,00	8,63	0,59	0,00	2,53	0,00
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	14,39	8,59	24,00	9,17	6,36	11,12	0,00
60	23,50	12,25	30,25	11,36	1,86	9,90	15,08

Anexo C

Tabla de distancias de cada cluster

CLIENTE SEMILLA 2				
	1	2	5	29
1	0,0	8,3	1,9	1,7
2	8,3	0,0	6,4	6,7
5	1,9	6,4	0,0	0,5
29	1,7	6,7	0,5	0,0

CLIENTE SEMILLA 18							
	1	13	16	17	24	39	49
1	0,0	2,4	0,5	1,1	0,9	7,5	1,6
13	2,4	0,0	2,5	3,3	3,3	9,7	3,9
16	0,5	2,5	0,0	0,8	1,5	7,1	2,1
17	1,1	3,3	0,8	0,0	1,3	6,4	1,9
24	0,9	3,3	1,5	1,3	0,0	7,3	1,1
39	7,5	9,7	7,1	6,4	7,3	0,0	6,2
49	1,6	3,9	2,1	1,9	1,1	6,2	0,0

CLIENTE SEMILLA 8																	
	1	8	18	22	25	27	31	32	33	35	45	46	47	54	56	57	58
1	0,0	12,6	3,5	7,7	17,7	0,9	8,2	0,3	4,0	5,6	2,7	6,4	9,3	1,8	2,3	7,8	2,1
8	12,6	0,0	9,1	4,9	15,4	13,6	4,4	13,0	8,7	7,1	10,9	6,2	3,3	14,4	10,4	4,8	10,6
18	3,5	9,1	0,0	4,2	14,9	4,5	4,7	3,9	0,5	2,9	5,5	4,9	5,8	5,3	1,3	4,3	1,5
22	7,7	4,9	4,2	0,0	18,4	8,7	4,3	8,1	3,9	2,2	6,0	1,3	7,7	9,5	5,5	0,1	5,7
25	17,7	15,4	14,9	18,4	0,0	17,8	14,1	18,0	14,5	17,7	20,3	19,8	12,1	18,9	15,7	18,6	16,2
27	0,9	13,6	4,5	8,7	17,8	0,0	9,1	0,6	4,9	6,5	2,7	7,4	10,3	1,1	3,2	8,8	3,0
31	8,2	4,4	4,7	4,3	14,1	9,1	0,0	8,5	4,2	3,6	6,5	5,7	3,4	10,0	5,9	4,4	6,1
32	0,3	13,0	3,9	8,1	18,0	0,6	8,5	0,0	4,3	5,9	2,3	6,8	9,7	1,5	2,6	8,2	2,4
33	4,0	8,7	0,5	3,9	14,5	4,9	4,2	4,3	0,0	3,2	5,8	5,3	5,4	5,8	1,7	4,0	1,9
35	5,6	7,1	2,9	2,2	17,7	6,5	3,6	5,9	3,2	0,0	3,8	2,1	7,0	7,4	3,3	2,3	3,5
45	2,7	10,9	5,5	6,0	20,3	2,7	6,5	2,3	5,8	3,8	0,0	4,7	9,6	3,5	4,6	6,1	4,2
46	6,4	6,2	4,9	1,3	19,8	7,4	5,7	6,8	5,3	2,1	4,7	0,0	9,1	8,2	4,2	1,4	4,4
47	9,3	3,3	5,8	7,7	12,1	10,3	3,4	9,7	5,4	7,0	9,6	9,1	0,0	11,1	7,1	7,8	7,3
54	1,8	14,4	5,3	9,5	18,9	1,1	10,0	1,5	5,8	7,4	3,5	8,2	11,1	0,0	4,1	9,6	3,9
56	2,3	10,4	1,3	5,5	15,7	3,2	5,9	2,6	1,7	3,3	4,6	4,2	7,1	4,1	0,0	5,6	0,4
57	7,8	4,8	4,3	0,1	18,6	8,8	4,4	8,2	4,0	2,3	6,1	1,4	7,8	9,6	5,6	0,0	5,8
58	2,1	10,6	1,5	5,7	16,2	3,0	6,1	2,4	1,9	3,5	4,2	4,4	7,3	3,9	0,4	5,8	0,0

CLIENTE SEMILLA 26														
	1	11	12	21	23	26	30	33	34	40	43	44	50	52
1	0,0	4,4	4,6	9,2	4,7	13,0	14,3	4,0	1,4	3,1	4,6	4,7	2,4	12,1
11	4,4	0,0	9,0	6,9	2,3	10,6	9,9	1,6	4,0	1,7	8,1	7,5	2,4	9,8
12	4,6	9,0	0,0	11,8	7,9	12,9	18,9	7,7	5,0	7,3	4,7	4,7	6,5	12,1
21	9,2	6,9	11,8	0,0	4,5	3,7	9,9	5,3	7,8	6,1	13,9	10,3	6,8	2,9
23	4,7	2,3	7,9	4,5	0,0	8,3	10,9	0,7	3,3	1,6	9,3	6,4	2,3	7,4
26	13,0	10,6	12,9	3,7	8,3	0,0	13,6	9,0	11,5	9,8	17,6	8,3	10,5	0,9
30	14,3	9,9	18,9	9,9	10,9	13,6	0,0	11,1	13,9	11,6	17,9	17,4	12,3	12,8
33	4,0	1,6	7,7	5,3	0,7	9,0	11,1	0,0	2,8	0,9	8,6	6,3	1,5	8,1
34	1,4	4,0	5,0	7,8	3,3	11,5	13,9	2,8	0,0	2,3	6,1	3,5	1,6	10,7
40	3,1	1,7	7,3	6,1	1,6	9,8	11,6	0,9	2,3	0,0	7,8	5,8	0,7	9,0
43	4,6	8,1	4,7	13,9	9,3	17,6	17,9	8,6	6,1	7,8	0,0	9,4	7,1	16,8
44	4,7	7,5	4,7	10,3	6,4	8,3	17,4	6,3	3,5	5,8	9,4	0,0	5,1	7,6
50	2,4	2,4	6,5	6,8	2,3	10,5	12,3	1,5	1,6	0,7	7,1	5,1	0,0	9,7
52	12,1	9,8	12,1	2,9	7,4	0,9	12,8	8,1	10,7	9,0	16,8	7,6	9,7	0,0

CLIENTE SEMILLA 36														
	1	9	10	15	20	36	37	38	41	42	51	53	55	60
1	0,0	4,2	11,1	13,9	14,8	18,9	18,4	0,2	8,0	13,8	13,2	10,4	1,3	18,7
9	4,2	0,0	15,3	14,2	15,1	19,3	18,8	4,0	8,3	14,1	13,5	10,8	2,9	19,0
10	11,1	15,3	0,0	11,6	12,5	16,7	16,1	11,4	12,0	11,5	10,9	10,8	12,4	16,4
15	13,9	14,2	11,6	0,0	1,6	5,1	6,1	13,7	5,9	1,9	0,7	3,5	15,2	6,6
20	14,8	15,1	12,5	1,6	0,0	4,2	4,6	14,6	6,8	1,0	2,1	4,8	16,1	5,0
36	18,9	19,3	16,7	5,1	4,2	0,0	1,7	18,8	11,0	5,2	5,8	8,6	20,3	2,2
37	18,4	18,8	16,1	6,1	4,6	1,7	0,0	18,3	10,6	4,6	6,7	9,4	19,7	0,4
38	0,2	4,0	11,4	13,7	14,6	18,8	18,3	0,0	7,8	13,6	13,0	10,2	1,5	18,5
41	8,0	8,3	12,0	5,9	6,8	11,0	10,6	7,8	0,0	6,4	5,2	2,4	9,3	11,1
42	13,8	14,1	11,5	1,9	1,0	5,2	4,6	13,6	6,4	0,0	2,5	5,2	15,1	4,9
51	13,2	13,5	10,9	0,7	2,1	5,8	6,7	13,0	5,2	2,5	0,0	2,8	14,5	7,1
53	10,4	10,8	10,8	3,5	4,8	8,6	9,4	10,2	2,4	5,2	2,8	0,0	11,7	9,8
55	1,3	2,9	12,4	15,2	16,1	20,3	19,7	1,5	9,3	15,1	14,5	11,7	0,0	20,0
60	18,7	19,0	16,4	6,6	5,0	2,2	0,4	18,5	11,1	4,9	7,1	9,8	20,0	0,0

CLIENTE SEMILLA 48					
	1	3	6	14	48
1	0,0	2,4	0,5	4,7	13,7
3	2,4	0,0	2,6	7,1	11,3
6	0,5	2,6	0,0	4,5	13,9
14	4,7	7,1	4,5	0,0	18,4
48	13,7	11,3	13,9	18,4	0,0

CLIENTE SEMILLA 59						
	1	4	7	19	28	59
1	0,0	16,7	5,8	18,4	5,4	15,5
4	16,7	0,0	11,4	1,7	20,2	2,8
7	5,8	11,4	0,0	13,1	11,2	10,2
19	18,4	1,7	13,1	0,0	21,9	2,9
28	5,4	20,2	11,2	21,9	0,0	19,0
59	15,5	2,8	10,2	2,9	19,0	0,0

Anexo D

Coordenadas en Latitud y Longitud

Nclientes	Longitud	Latitud
1	-79,936041	-2,117199
2	-79,879367	-2,143784
3	-79,932246	-2,137078
4	-79,829606	-2,178130
5	-79,935025	-2,135586
6	-79,934517	-2,113436
7	-79,938750	-2,172889
8	-79,892454	-2,200030
9	-79,916862	-2,094310
10	-79,980421	-2,184036
11	-79,946261	-2,151056
12	-79,913024	-2,094435
13	-79,936923	-2,139875
14	-79,943317	-2,077488
15	-79,884629	-2,204546
16	-79,940593	-2,118127
17	-79,943667	-2,113342
18	-79,932501	-2,148889
19	-79,825757	-2,191043
20	-79,887996	-2,216889
21	-79,925984	-2,199525
22	-79,893644	-2,151976
23	-79,929234	-2,157408
24	-79,932491	-2,111648
25	-80,038375	-2,191712
26	-79,895372	-2,206254
27	-79,940091	-2,111844
28	-79,926532	-2,072768
29	-79,933768	-2,131609
30	-80,010766	-2,185216

Nclientes	Longitud	Latitud
31	-79,912894	-2,176028
32	-79,936082	-2,113794
33	-79,931950	-2,152876
34	-79,930815	-2,126261
35	-79,908034	-2,144698
36	-79,881333	-2,251986
37	-79,892687	-2,257797
38	-79,934102	-2,116701
39	-79,951043	-2,057215
40	-79,933927	-2,146337
41	-79,891654	-2,152504
42	-79,894899	-2,213627
43	-79,940992	-2,075803
44	-79,896924	-2,125276
45	-79,914200	-2,112540
46	-79,893318	-2,138894
47	-79,924125	-2,198652
48	-79,905107	-2,223248
49	-79,934799	-2,102857
50	-79,933679	-2,139182
51	-79,885374	-2,198230
52	-79,897971	-2,200346
53	-79,885772	-2,170788
54	-79,939003	-2,102136
55	-79,936298	-2,104027
56	-79,934560	-2,138249
57	-79,892435	-2,151989
58	-79,933298	-2,135041
59	-79,849514	-2,185887
60	-79,893631	-2,261290

Anexo E

Código del programa de asignación (Gams)

```
SETS
i conjunto de clientes /2*60/
j conjunto de clientes semillas /2,8,18,26,36,48,59/

SCALAR  capacidad /15000/

PARAMETER demanda(i)
/
$include demandas.txt
/

TABLE
costo(i,j)  costo de cliente i asignado al cliente semilla j
$include costos.txt
;

VARIABLE
z;

BINARY VARIABLE
x(i,j) 1 si el cliente i es asignada al cliente semilla j y 0 sino;

EQUATIONS
obj
r1
r2;

obj.. z=e=sum((i,j),costo(i,j)*x(i,j));
```

```

r1(j).. sum(i,demanda(i)*x(i,j))=l=capacidad;
r2(i).. sum(j,x(i,j))=e=1;

model asignacion /all/
solve asignacion min z using mip
display z,l,x,l

FILE      SOLUCION      /C:\Users\VEGA\Documents\ESPOL\Materia      de
Graduación\Programas\asignacion.TXT/;
PUT SOLUCION;
PUT "PROBLEMA DE ASIGNACIÓN GENERALIZADA"//;

PUT "ASIGNACION DE CLIENTES A CADA CLUSTER"//;
PUT "===== "//;
PUT "Los clientes están asignados a cada cluster de la siguiente manera:"//;
PUT "Clientes  Cluster"/;
LOOP(i,
LOOP(j,
PUT$(x.L(i, j) NE 0),i.tl,j.tl/
);
);

```

Anexo F

Código para el TSP de cada cluster (Mathematica)

```

d=Import["C:\\Users\\VEGA\\Documents\\ESPOL\\Materia de
Graduación\\Programas\\costosemilla2.txt", "Table"];

nodos=d[[1]];

d=Delete[d,1];

d=d[[All,2;;Length[d]+1]];

n=Length[d];

dist=0;

tour={1}; (* tour iniciamos con el nodo 1 *)

cand=Range[2,n]; (* los candidatos para formar tour *)

k=1;

m=n;

For [j=2,j<= n-1,

dr=Table[{cand[[i]],d[[k]][[cand]][[i]]},{i,1,m-1}];

minimo=Min[dr[[All,2]]];

k=Select[dr,#[[2]]==minimo&,1][[1,1]];

tour=Append[tour,k];

cand=Complement[cand,{k}];

dist=dist+minimo;

m--;

```

```

j++;

dist=dist+d[[k,cand[[1]]]]+d[[cand[[1]],1]];

tour=Append[Append[tour,cand[[1]],tour[[1]]];

tours={};

For[i=1,i<=Length[tour],

tours=Append[tours,nodos[[tour[[i]]]];

i++;

Print["El tour a recorrer es: "];

Print[tours];

Print["La distancia total recorrida es: ",dist];

Graph[Table[tours[[i]]\{UndirectedEdge}tours[[i+1]],{i,1,Length[tours]-
1}],VertexCoordinates-
>coord[[Delete[tours,Length[tours]]],VertexShapeFunction->{ 1-
>"Square"},VertexLabels->"Name",VertexSize->{1->0.4},VertexStyle->{1->Red}]

(* ruta mejorada con 2-opt *)

mejorp=dist;

tours=tour;

long[s_]:=Sum[d[[s[[1]],s[[l+1]]]],{l,1,Length[s]-1}];

For[op=True,op,

opcion=False;

For[j=1,j<=n-3,

```



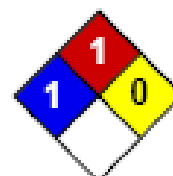
```

For[i=2,i<=n-j,
tourp=Join[Take[tour,i-1],Reverse[Take[tour,{i,i+j}]],Take[tour,{i+j+1,n+1}]];
longp=long[tourp];
If[longp<mejorp,mejorp=longp;tours=tourp;opcion=True];
i++;
];
j++;
];
If [opcion==False,op=False,tour=tours];
]
touropt={};
For[i=1,i<=Length[tour],
touropt=Append[touropt,nodos[[tours[[i]]]];
i++];
Print["El tour mejorado con 2-intercambio es:"];
Print[touropt];
Print["con Distancia:
",mejorp];Graph[Table[touropt[[i]]\[UndirectedEdge]touropt[[i+1]],{i,1,Length[touropt]-1}],VertexCoordinates->coord[[Delete[touropt,Length[touropt]]],VertexShapeFunction->{1->"Square"},VertexLabels->"Name",VertexSize->{1->0.4},VertexStyle->{1->Red}]

```

Anexo G

Hoja de datos químicos (MSDS)



Health	1
Fire	1
Reactivity	0
Personal Protection	C

Material Safety Data Sheet

Ethylene glycol MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Ethylene glycol	Contact Information:
Catalog Codes: SLE1072	ScienceLab.com, Inc.
CAS#: 107-21-1	14025 Smith Rd.
RTECS: KM2975000	Houston, Texas 77396
TSCA: TSCA 8(b) Inventory: Ethylene glycol	US Sales: 1-800-801-7247
CI#: Not available.	International Sales: 1-281-441-4400
Synonyms: 1,2-Dihydroxyethane; 1,2-Ethanediol; 1,2-Ethandiol; Ethylene dihydrate; Glycol alcohol; Monoethylene glycol; Tescol	Order Online: ScienceLab.com
Chemical Name: Ethylene Glycol	CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300
Chemical Formula: HOCH ₂ CH ₂ OH	International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887
	For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Ethylene glycol	107-21-1	100

Toxicological Data on Ingredients: Ethylene glycol: ORAL (LD50): Acute: 4700 mg/kg [Rat], 5500 mg/kg [Mouse], 6610 mg/kg [Guinea pig]. VAPOR (LC50): Acute: >gt;200 mg/m³ 4 hours [Rat].

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects:

Hazardous in case of ingestion. Slightly hazardous in case of skin contact (irritant, permeator), of eye contact (irritant), of inhalation. Severe over-exposure can result in death.

Potential Chronic Health Effects:

CARCINOGENIC EFFECTS: A4 (Not classifiable for human or animal.) by ACGIH. MUTAGENIC EFFECTS: Mutagenic for mammalian somatic cells. Non-mutagenic for bacteria and/or yeast. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. The substance may be toxic to kidneys, liver, central nervous system (CNS). Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage. Repeated exposure to a highly toxic material may produce general deterioration of health by an accumulation in one or many human organs.

Section 4: First Aid Measures

Anexo H

Señales de seguridad













Anexo I

Símbolos de advertencia y peligrosidad

Símbolo	Nombre	Ejemplos	Símbolo	Nombre	Ejemplos
	Explosivo	Nitroglicerina		Peligro biológico	VIH
	Comburente	Oxígeno		Peligroso para el medio ambiente	Benceno
	Inflamable	Benceno		Muy inflamable	Hidrógeno
	Toxico	Metanol		Muy tóxico	Nicotina
	Corrosivo	Acido Clorhídrico		Peligro Radiaciones	Uranio
	Irritante	Cloruro de calcio		Noctivo	Cloruro de potasio

Anexo J

Tabla de compatibilidad de químicos

					
	+	-	-	-	+
	-	+	-	-	-
	-	-	+	-	+
	-	-	-	+	0
	+	-	+	0	+

+	Se pueden almacenar juntos
0	Solamente podrán almacenarse juntos, adoptando ciertas medidas
-	No deben almacenarse juntos

Anexo K

Compatibilidad de productos químicos

CLASE ONU	DIVISIONES	SGH	Pictogramas de Peligros																					
1. EXPLOSIVOS	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6	1	[Red]																					
2. GASES	2.1, 2.2, 2.3	2, 3	3	2	[Red]																	1	2	3
AEROSOLES	2.1	2, 3	3	1	1	1	1	[Red]													1	2	3	
3. LÍQUIDOS INFLAMABLES	3	3	4	4	1	1	[Red]													1	2	3		
4.1 SÓLIDOS INFLAMABLES / EXPLOSIVOS INSENSIBILIZADOS	4.1	4	1	1	[Red]													1	1	1	1			
SÓLIDOS INFLAMABLES Y DE REACCIÓN ESPONTÁNEA	4.1	4	1	1	5	[Red]													5	5	5			
4.2 SUSTANCIAS QUE PUEDEN EXPERIMENTAR COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA	4.2	4	1	5	5	[Red]													5	5				
4.3 SUSTANCIAS QUE DESPRENDEN GASES INFLAMABLES CON EL AGUA	4.3	4	1	5	5	[Red]													5	5				
5.1 SUSTANCIAS COMBURENTES	5.1	5	1	[Red]													5	5						
5.2 PERÓXIDOS ORGÁNICOS	5.2	5	1	[Red]													5	5						
6.1 SUSTANCIAS TÓxicAS CON EFECTOS AGUDOS	6.1	6	6	[Red]													6	6						
6.1 SUSTANCIAS TÓxicAS CON EFECTOS CRÓNICOS	6.1	6	6	[Red]													6	6						
6.2 SUSTANCIAS INFECCIOSAS	6.2	6	[Red]													6	6							
7. SUSTANCIAS RADIACTIVAS	7	7	[Red]													7	7							
8. SUSTANCIAS CORROSIVAS	8	8	[Red]													8	8							
9. SUSTANCIAS Y OBJETOS PELIGROSOS VARIOS, INCLUIDAS LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS PARA EL MEDIO AMBIENTE	9	9	[Red]													9	9							

Convenciones

- [Verde] No se requiere precaución especial.
- [Amarillo] Precaución: puede ser dañino. Evitar respiración y contacto con la piel.
- [Rojo] Precaución: puede ser muy dañino. Evitar respiración y contacto con la piel.
- [Negro] Precaución: puede ser muy dañino. Evitar respiración y contacto con la piel.

Anexo L

Equipo de protección personal

