



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA**

**“Optimización de las rutas de reparto para una empresa  
distribuidora de productos ferreteros”**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE**

Presentado por:

Estefanía Mariuxi Chilibingua Tapia

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

# AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las bendiciones recibidas, por la sabiduría para poder culminar con éxito mi carrera universitaria, agradezco a mi padre por su apoyo incondicional, paciencia y ánimos brindados durante todo este tiempo lo que han hecho de mí una persona que se esfuerza por lo que quiere y una hija agradecida.

Agradezco a mi madre por su dedicación, tiempo y consejos brindados durante toda mi vida tanto en lo académico como en lo personal, lo que hizo posible que logre culminar esta meta propuesta.

Agradezco a mis amigas y amigos que han estado a mi lado durante todos estos años y me han brindado su amistad sincera haciendo de esta amistad una unidad fraternal.

# DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Segundo Rodrigo Chilibuina y Laura Inés Tapia Tapia por ser parte fundamental en mi desarrollo académico. A mis hermanos Alfonso y Henry y a todos mis familiares que forman parte de mi vida en especial a mi tía Nube Noemí Rojas por brindarme su amor y consejos.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Máster Guillermo Baquerizo Palma  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN  
(Dentro de una materia de la malla)

---

Msc. Brenda Denisse Cobeña Terán  
COORDINADORA DE LA CARRERA

---

Ing. Roxana Villalva  
DELEGADA

# DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Estefanía Mariuxi Chiliquina Tapia

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

**Firma Autora**

# RESUMEN

En el presente proyecto de graduación se tomó a un centro de distribución de productos ferreteros como la empresa a ser investigada, ubicada en la ciudad de Guayaquil en el km 18 ½ vía Daule. La empresa cuenta con flota heterogénea para la distribución de sus productos. Durante la investigación se observó que la empresa distribuye sus productos de forma empírica lo que provoca un aumento en los costos operativos, e insatisfacción en el cliente.

Por lo que se propone optimizar las rutas de reparto para el centro de distribución con el objetivo de minimizar costos, minimizar las distancias recorridas, cumplir con las ventanas de horarios dada por los clientes y cumplir con las restricciones viales según la Comisión de Tránsito del Guayas. Una vez analizado los datos se realizó la aplicación del modelo matemático VRPTW para cumplir con los requerimientos previamente establecidos, además de la aplicación de la heurística de Clarke & Wright para la creación de rutas que generen menores costos y que aumenten el nivel de servicio de la empresa.

Una vez obtenido los resultados se pretende que la empresa logre ser competitiva en el mercado y que aumente el nivel de servicio hacia los clientes.

# ABSTRACT

In the present graduation project a hardware products distribution center was taken as the company to be investigated, located in Guayaquil city in the 18 ½ via Daule km. The company has heterogeneous fleet for the distribution of its products. During the investigation, it was noted that the company distributes its products empirically which leads to an increase in operating costs, and customer dissatisfaction.

Therefore, it is proposed to optimize distribution routes for the distribution center in order to minimize costs, minimize distances traveled, comply with the time windows given by customers and with the road restrictions according to Guayas Transit Commission. Once the data are analyzed, the mathematical model VRPTW is used to fulfill the requirements previously established, in addition, the application of Clark & Wright heuristic for the creation of routes that generate lower costs and increase the company service level.

Once the results are obtained it is intended to make the company competitive in the market and to increase the service level towards customers.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE ALGORITMOS.....	VIII
ABREVIATURAS.....	IX
GLOSARIO.....	X
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Restricciones en la red vial.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	5
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivo específico.....	6
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>7</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Estado del arte.....	8
2.2 Marco conceptual.....	9
2.3 Canales de distribución.....	10
2.4 Modelos de distribución física y transporte.....	11
2.4.1 Factores que influyen en el diseño de los canales de distribución.....	11



2.4.2	Criterios para la selección del transporte.....	12
2.4.3	Elementos fundamentales de la distribución.....	12
2.5	Problema de ruteo vehicular.....	13
2.6	Componentes de un problema de ruteo vehicular.....	13
2.6.1	Los Clientes.....	17
2.6.2	Los Depósitos.....	17
2.6.3	Los Vehículos.....	17
2.7	Diversas métricas para el cálculo de las distancias.....	17
2.7.1	Distancia Euclidiana.....	17
2.7.2	Distancia Manhattan.....	17
2.8	Variantes del Vehicle routing Problem.....	19
2.9	Problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo – VRPTW.....	20
2.10	Modelo matemático del -- VRPTW.....	21
2.11	Heurísticas para resolver el VRPTW.....	24
2.11.1	Características de los métodos heurísticos.....	26
2.12	Heurística de Clarke & Wright.....	26
2.13	Modelo tarifario de transporte.....	28
2.13.1	Componentes del modelo tarifario.....	28
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>31</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA EN LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>31</b>
3.1	Organigrama estructural de la empresa.....	32
3.2	Flujo de la cadena de suministro.....	36
3.3	Flujograma de una orden de pedido.....	38
3.4	Estructura organizativa del centro de distribución.....	40
3.5	Calendario de actividades.....	42
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>43</b>
<b>4.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>43</b>
4.1	Datos de la empresa.....	43

4.1.1	Coordenada de los clientes.....	43
4.1.2	Demanda de los clientes.....	45
4.1.3	Ventanas de horarios.....	45
4.2	Modelo tarifario de transporte.....	46
4.2.1	Costos fijos del modelo.....	46
4.2.2	Costos variables del modelo.....	46
4.2.3	Resultado de los costos fijos y variables.....	47
4.3	Heurística de Clarke & Wright.....	48
4.4	Resultados del modelo tarifario.....	49
4.4.1	Modelo tarifario para el vehículo de 3.5 TN.....	49
4.4.2	Modelo tarifario para el vehículo de 5.5 TN.....	51
4.4.3	Modelo tarifario para el vehículo de 12 TN.....	52
4.4.4	Resultados del modelo tarifario según la frecuencia.....	54
4.5	Resultados de la Heurística.....	54
4.5.1	Resultados de la heurística para el vehículo de 3.5 TN.....	54
4.5.2	Resultados de la heurística para el vehículo de 5.5 TN.....	60
4.5.3	Resultados de la heurística para el vehículo de 12 TN.....	68
4.6	Comparación de los costos de distribución.....	72
4.6.1	Comparación de los costos diarios.....	72
4.6.2	Comparación de los costos semanales.....	73
4.6.3	Comparación de los resultados.....	74
	<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>75</b>
	<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
5.1	Conclusiones.....	72
5.2	Recomendaciones.....	76
	ANEXOS.....	77
	ANEXO 1 Coordenada de los clientes.....	77
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Centro de distribución.....	1
Figura 1.2.1 Flujo de la gestión logística .....	3
Figura 1.2.2 Actividades logísticas .....	4
Figura 2 Flujo de las actividades logísticas .....	7
Figura 2.4.1 Zona de arribo y despacho de mercancía.....	11
Figura 2.4.3 Elementos fundamentales de la distribución.....	12
Figura 2.6.1 Localización de clientes.....	14
Figura 2.6.2 Ubicación del centro de distribución .....	15
Figura 2.6.3.1 Flota vehicular .....	15
Figura 2.6.3.2 Beneficios de la selección vehicular .....	16
Figura 2.7.1.1 Distancia en un sistema cartesiano .....	17
Figura 2.7.1.2 Representación de la distancia euclidiana .....	18
Figura 2.7.2 Representación del cálculo de distancia Manhattan .....	18
Figura 2.8 Variantes del VRP .....	19
Figura 2.9 Problema de ruteo vehicular.....	20
Figura 2.11 Heurísticas para resolver el VRP.....	25
Figura 2.12.1 Ejemplo de la técnica de ahorros.....	26
Figura 2.12.2 Cálculo de ahorros .....	27
Figura 3 Metodología de trabajo.....	31
Figura 3.1 Organigrama estructural de la empresa.....	32
Figura 3.2 Cadena de abastecimiento.....	36
Figura 3.3 Proceso de una orden de pedido.....	38
Figura 3.4 Estructura organizativa del CD .....	40
Figura 3.5 Calendario de actividades .....	42
Figura 4.1.1 Coordenada de los clientes .....	44
Figura 4.1.2 Representación gráfica de los clientes .....	45

Figura 4.6.1 Representación gráfica de los costos de distribución .....	73
Figura 4.6.2 Representación porcentual de los costos semanales .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.1.1 Descripción de las ventanas de horarios en el perímetro urbano.....	2
Tabla 1.1.1.2 Descripción de la capacidad de la flota.....	3
Tabla 2.6.3 Descripción de la flota vehicular del CD.....	16
Tabla 2.13.1.1 Formato para los costos fijos .....	28
Tabla 2.13.1.2 Formato para los costos variables .....	29
Tabla 2.13.1.3 Resultado de los costos del modelo tarifario.....	30
Tabla 4.4.1.1 Costos fijos del vehículo de 3.5 TN.....	49
Tabla 4.4.1.2 Costos variables del vehículo de 3.5 TN.....	50
Tabla 4.4.1.3 Resultados del modelo tarifario del vehículo de 3.5 TN .....	50
Tabla 4.4.2.1 Costos fijos del vehículo de 5.5 TN.....	51
Tabla 4.4.2.2 Costos variables del vehículo de 5.5 TN.....	51
Tabla 4.4.2.3 Resultados del modelo tarifario del vehículo de 5.5 TN .....	52
Tabla 4.4.3.1 Costos fijos del vehículo de 12 TN.....	52
Tabla 4.4.3.2 Costos variables del vehículo de 12 TN.....	53
Tabla 4.4.3.3 Resultados del modelo tarifario de 12 TN .....	53
Tabla 4.4.4 Modelo tarifario según la frecuencia .....	54
Tabla 4.5.1 Resultados de la Heurística para el vehículo 3.5 TN.....	55
Tabla 4.5.2 Resultados de la Heurísticas para el vehículo de 5.5 TN.....	60
Tabla 4.5.3 Resultados de la Heurística para el vehículo de 12 TN.....	68
Tabla 4.6.3 Comparación de resultados .....	68

# ÍNDICE DE ALGORITMOS

Algoritmo 2.12 Clarke & Wright .....	27
Algoritmo 4.3 Clarke & Wright .....	48

# ABREVIATURAS

<b>CD</b>	Centro de Distribución
<b>VRP</b>	Vehicle Routing Problem
<b>SCM</b>	Supply Chain Management
<b>SVRP</b>	Stochastic Vehicle Routing Problem
<b>PVRP</b>	Periodic Vehicle Routing Problem
<b>CVRP</b>	Capacited Vehicle Routing Problem
<b>VRPB</b>	Vehicle Routing Problem with Backhauls
<b>SDVRP</b>	Split Delivery Vehicle Routing Problem
<b>MDVRP</b>	Multi Depot Vehicle Routing Problem
<b>VRPTW</b>	Vehicle Routing Problem with Time Window
<b>VRPPD</b>	Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivering
<b>SCM</b>	Suplly Chain Management
<b>SAP</b>	Systeme, Anwendungen und produkte
<b>GPS</b>	Global Positioning System

# GLOSARIO

- A** Asequibilidad: que esté al alcance de los clientes.
- C** Clarke & Wright: es una heurística de ahorros, se trata de optimizar recorridos.
- G** Google Earth: es un sistema de información geográfica donde se puede obtener coordenadas geográficas, nos sirve de ayuda para verificar las coordenadas de los clientes.
- Google Maps: es una aplicación de Google, que sirve para visualizar mapas en la web. Sirve como ayuda en este trabajo ya que se puede ilustrar los clientes, lugar de distribución.
- GPS: sistema que permite determinar la posición de cada objeto.
- N** NP- completo: es un problema de optimización difícil para el cual no podemos garantizar el encontrar una solución posible en tiempo razonable.
- Nodo origen: es donde comienza la conexión, es decir de donde sale el producto.
- Nodo destino: es considerado el destino final del producto.
- P** Pallet: son materiales que sirven para contener a la mercancía que se va a almacenar y posteriormente distribuir. Pueden ser de diferente tipo y medida.
- Paletizar: es la acción de colocar la mercancía sobre un pallet para su almacenaje.
- Picking: es la preparación del pedido previo a su distribución.

**R** Retail: también llamados clientes, son los almacenes en los que se distribuye el producto.

RFDI: medio de comunicación inalámbrica entre el dispositivo lector y el equipo de cómputo a través de una antena transponer.

**W** Wólfram Matemática: es un lenguaje de programación de propósito general, utilizado en áreas científicas, de ingeniería, matemática, y áreas computacionales.



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Parte importante de la logística es la distribución, ya que se encarga de la planificación de rutas y expendio de productos hasta el consumidor final. En el capítulo 1 se investigó la problemática de la empresa la cual está consciente que los costos de producción y la calidad no son suficientes, sino que es necesario que los clientes puedan acceder a ellos en cualquier lugar a un costo razonable, lo cual requiere de una previa planificación para poder optimizar los costos operativos de transporte que es el principal objetivo en este proyecto.

En el capítulo 2 se realiza una recopilación de toda la información que se utilizará durante el desarrollo del proyecto de graduación, se investigará toda la información relacionada a la problemática de la empresa hasta los conceptos básicos del modelo matemático - VRP.

VRP – (Vehicule Routing Problem) es un problema de ruteo vehicular que consiste en atender la demanda asociada a un conjunto de clientes, para lo cual se tiene una flota vehicular que parte desde un depósito o centro de distribución, el problema consiste en asignar una ruta de clientes a cada vehículo de manera que se minimice el costo del transporte.

Para cumplir con este tipo de problemas de ruteo vehicular se toma en cuenta algunos factores importantes como las restricciones que debe cumplir cada ruta, la cual depende del tipo de servicio que ofrece la empresa y de los requerimientos del cliente. Adicional se investigará una variación del VRP básico, el cual consiste en añadir restricciones de tiempo.

VRPTW – (Vehicle Routing Problem Time Window) es el problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo donde cada cliente tiene asociada una ventana de tiempo lo que indica que el cliente debe ser atendido por el vehículo en esa franja de horario.

En el siguiente capítulo se estableció la metodología a seguir durante la investigación, así como la información relacionada a la empresa como es el organigrama empresarial y el flujo de la cadena de suministro donde se detallan todas las actividades que realiza la empresa.

En el capítulo 4 se obtiene un modelo tarifario que se utilizará para la resolución del problema, además se propone obtener una solución al problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo mediante métodos heurísticos para la construcción de rutas las cuales serán programadas computacionalmente.

## 1.1 Antecedentes

Una distribuidora de productos de ferretería es la empresa con la que se trabajará en el presente proyecto, inicialmente estaba ubicada en la vía Daule Km 9 ½ sin embargo con el pasar del tiempo la alta gerencia se dio cuenta que este centro de distribución no era el apropiado para el expendio de este tipo de productos de ferretería que se distribuía, ya que la infraestructura no era la apropiada, por lo que se planificó la construcción de un nuevo centro de distribución y en octubre del año 2015 se inició su constitución, ubicada en la vía Daule Km 18 ½, la cual fue construida para agilizar la entrada y salida de productos, garantizando un aumento en el acopio de los productos, flexibilidad para repartir sus productos, evitando así los cuellos de botella.

Actualmente el centro de distribución ha logrado gestionar la logística interna, actualmente cuenta con 200 clientes clasificados en mayoristas y minoristas, para cubrir la demanda de los clientes la empresa inicia sus actividades desde las 07:00 am hasta las 20:00 pm de lunes a sábado. La administración del centro de distribución se ha dado cuenta que la distribución es el factor dentro de la cadena de abastecimiento en el que la empresa incurre en costos excesivos debido a que su sistema no es el adecuado. En la investigación realizada se evidenció las fallas que tenía la empresa al momento de realizar la distribución.



**Figura 1.1 Centro de distribución**

*Fuente: Autora*

El área de distribución cuenta con personal capacitado para la manipulación de los productos; cada chofer y ayudante conocen las rutas de entrega, estos son asignados a cada camión.

### 1.1.1 Restricciones en la red vial

Para resguardar la seguridad ciudadana y no afectar el tránsito urbano la Comisión de Tránsito del Ecuador toma en cuenta los diferentes tipos de vehículos de transporte de carga, de acuerdo a las características geométricas y de localización, acordes con las dimensiones y servicio en esta ordenanza.

Para la empresa investigada las restricciones viales son las siguientes:

**TABLA 1.1.1.1 Descripción de las ventanas de horarios en el perímetro urbano**

Camión(Ton)	Zona	Franja de Horario
3.5	Puntilla, pase a Duran	08:00 – 18:00
5.5	Guayaquil - Duran	10:00 – 17:00
12	Perímetro urbano	08:00 – 13:00

*Fuente: Autora*

Además, se tiene que cumplir con las restricciones en altura respecto a la carga:

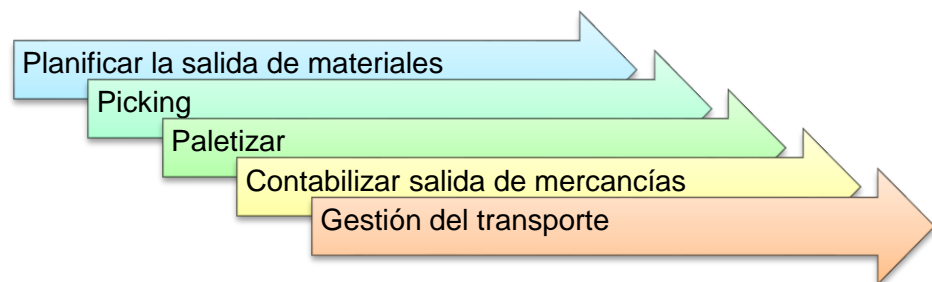
**TABLA 1.1.1.2 Descripción de la capacidad de la flota**

Zona	Altura (metros)	Piso
Guayaquil	1.70	Un piso
Provincia	2.00	Un piso

*Fuente: Autora*

## 1.2 Planteamiento del problema

Los problemas de enrutamiento de vehículos en la realidad presentan un gran número de condiciones, como por ejemplo la capacidad del vehículo, la cual puede ser homogénea o heterogénea; otra condición puede ser el número de depósitos donde se recoge la carga, la forma del producto que se transporta puede afectar la capacidad de los vehículos, puesto que se puede definir dicha capacidad en volumen. En el presente proyecto se pretende tomar en cuenta las actividades que realiza el centro de distribución previo a la distribución de los productos.



**Figura 1.2.1 Flujo de la gestión logística**

*Fuente: Autora*

El proceso de distribución comienza con la planificación de la salida de mercancía que se realiza en el área de compras mediante reportes y monitoreo ya que los clientes envían su pedido y el sistema automáticamente los registra, en el pedido se detallan las cantidades y

volúmenes de los productos a transportarse, seguido de esto la orden es enviada vía RFID a los operarios del picking, es decir es el proceso de selección de la mercancía extrayendo unidades o conjuntos empaquetados. Luego se realiza la palatización del producto, el operario lleva el pedido a la zona de consolidación para que luego el jefe de bodega contabilice la salida de dicha mercancía.

Una vez realizado este proceso se puede gestionar el transporte asignando los vehículos a sus respectivas rutas, con la condición adicional del tiempo que genera un costo adicional si el vehículo toma una ruta a cierta hora del día lo que causará mayor congestión vehicular.



**Figura 1.2.2 Actividades logísticas**

*Fuente: Autora*

A continuación, se detallan los problemas que se genera en la distribución de los productos, debido que el vehículo retorna con productos, por los siguientes casos:

- Tardanza en el tiempo de entrega
- Ausencia del cliente para la entrega de los productos
- Restricción por la circulación del vehículo
- Incumplimiento de la ventana de horario
- Incumplimiento de la ruta vehicular programada

### **1.3 Justificación del problema**

Por lo que se ha detectado como problema principal el CD desarrollará un plan de mejora para toda la cadena de distribución, con el fin de aumentar el desempeño de la empresa, se propone mejorar el costo de transportación, tiempo de tránsito, seguridad, asequibilidad, la atención al cliente, garantizando que el producto llegue en buen estado y en los horarios de tiempo establecidos por el cliente. Esto se logrará con la planificación de rutas.

Para la resolución del problema de ruteo vehicular se empleará la heurística del VRPTW (Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo) que es una variante del VRP, en este modelo el servicio a cada cliente debe iniciar en un periodo de tiempo dado, a lo que llamamos ventana de tiempo, el vehículo puede llegar antes, pero tendrá que esperar a que el cliente esté listo para ser atendido, pero no podrá llegar después del tiempo establecido por el cliente.

Para esto hay que analizar todos los procesos de distribución como recepción del pedido, despacho de mercancía, verificación y embarque para cada camión asignado para la entrega de productos. Para cumplir con el objetivo de la investigación se usa una heurística para contrastar los costos de distribución con la situación actual de la empresa.

### **1.4 Hipótesis**

Con la implantación de un sistema de ruteo vehicular se minimizarán los costos de distribución de la empresa y las distancias recorridas en la entrega de productos de ferretería desde el centro de distribución que es la empresa que es objeto de estudio hasta los clientes ubicados en la ciudad de Guayaquil.

## **1.5 Objetivos**

A continuación, se presenta los objetivos generales y específicos que se van a obtener en el presente proyecto.

### **1.5.1 Objetivo general**

- Optimizar los costos de distribución y tiempos relacionados aplicando el modelo matemático VRPTW para la creación de rutas.

### **1.5.2 Objetivo específico**

- Minimizar los costos en el transporte de distribución
- Modelar el problema de ruteo vehicular con ventana de tiempo (VRPTW)
- Cumplir con las ventanas de horarios
- Comparar los resultados obtenidos de la propuesta con la situación actual de la empresa.



# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

La logística es un componente de la cadena de suministro que planifica, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente de bienes y servicios, así como el flujo de información relacionado. El sistema logístico es la integración de las actividades logísticas que permiten cumplir varios objetivos:

- Hacer prioritarias las necesidades del cliente
- Flexibilidad en la distribución para cumplir las necesidades del mercado
- Reaccionar ante la demanda del cliente

De tal manera que se puedan suministrar los productos o servicios necesarios, en el momento oportuno, en cantidades requeridas, con la calidad apropiada y al mínimo costo.



**Figura 2 Flujo de las actividades logísticas**

*Fuente: (Díaz, 2012)*

Las actividades principales del proceso logístico se organizan en forma del flujo. Durante el proceso de aprovisionamiento y compras, el centro de distribución obtiene de sus proveedores los materiales, componentes e insumos que son transportados físicamente hasta la zona de almacenamiento.

Luego se preparan los pedidos en la zona de picking, según las especificaciones de los clientes y se despachan para ser transportados a través de una red de distribución física hasta los clientes.

## **2.1 Estado del arte**

En esta sección observaremos las investigaciones que están relacionadas al tema de estudio del proyecto y que serán de apoyo en la realización del mismo. A continuación, se presentan las investigaciones que están relacionadas con el problema de ruteo vehicular y los métodos de solución, ya sea heurísticas o meta heurísticas.

Se cuenta con distribuidores que están a nivel nacional, los cuales tienen sus horarios de preferencia para la realización de las visitas, con la aplicación del VRPTW que es la variante del VRP se realizara la optimización de las rutas para cada centro de distribución, además de evitar la asignación manual de ruta, cumplimiento de los horarios, y determinación de la flota requerida para la operación. (Carrion, 2015)

Se estudia una variante del problema de ruteo vehicular en el cual dos objetos se van a optimizar, minimizando el costo y buscando un equilibrio en la carga de trabajo de cada vehículo. Este problema está dentro de los problemas multi-objetivo. (Sarmiento Lepesqueur, 2014).

Es de interés resolver el problema desde la óptica del VRPTW porque es más cercano a la situación real donde se considera el ruteo teniendo en cuenta que esta empresa se encarga de la distribución de productos lácteos, los cuales les lleva los productos usando las rutas con vehículos de capacidad fija y homogéneos, los cuales salen en un horario preferido por los clientes. Además, mejora la solución con la ayuda de la meta heurística del algoritmo genético modificado. (Guasmayan Guasmayan, 2014)

La resolución de este proyecto se utilizó el VRPTW que es una variante del VRP ya que se trata de una distribuidora de productos de consumo masivo, la idea es mejorar la cadena de suministros ya que la distribución es parte fundamental de la misma; con lo cual se lograra identificar nuevas oportunidades de mejora, reducción de costos de transporte, disminución de la inversión y una mejora considerable del servicio al cliente, garantizando que el producto llegue en buen estado. (Borbor Chicaiza , 2015).

## **2.2 Marco conceptual**

La red vial se describe generalmente con un grafo, los arcos representan la red vial y los vértices corresponden a los clientes.

Cada arco tiene asociado un costo que representa la longitud o tiempo de viaje, así es como los problemas de ruteo vehicular tratan de generar rutas que minimicen los costos de distribución, estos costos pueden ser tiempo de entrega o distancia recorrida; cumpliendo las restricciones de dicho problema.

Para la resolución del problema de ruteo vehicular intervienen varios factores como:

- Número y localización de clientes
- Capacidad de los vehículos
- La demanda de los clientes
- Costo y tiempo de transportación

### **2.3 Canales de distribución**

Los canales de distribución son los medios por los cuales se hace llegar el producto hasta el consumidor final, los cuales generan una ventaja competitiva y provoca satisfacción en los clientes. Hay diferentes tipos de distribución según el grado de exposición que tenga el producto en el mercado, estos pueden ser:

- Distribución Intensiva. - es cuando se coloca al producto en todas partes.
- Distribución Exclusiva. - es cuando los clientes pueden adquirir los productos en algún lugar exclusivo, la distribución es exclusiva para ese producto.
- Distribución Selectiva. - es una combinación de la distribución intensiva y la exclusiva, logrando ingresar al mercado eficientemente.

Los criterios para la selección del canal de distribución son tomados en base a los objetivos y estrategias del mercado en general, existen diferentes tipos de transporta para la distribución, como, por ejemplo: transporte terrestre, transporte aéreo, transporte marítimo, transporte fluvial, hasta llegar a su destino final.

## 2.4 Modelos de distribución física y transporte

La distribución física es la forma en que los CD almacenan, manejan y mueven los artículos para ponerlos al alcance de los consumidores en el momento y lugar adecuados. En general la distribución física de los productos involucra no solo el movimiento de los bienes terminados al final del proceso de producción hasta llegar al consumidor final, sino también el flujo de la materia prima desde la fuente hasta el inicio del proceso productivo.

### 2.4.1 Factores que influyen en el diseño de los canales de distribución

- Características de los clientes
- Características de los productos
- Características de la empresa
- Características de la competencia
- Características de las vías de tránsito



**Figura 2.4.1 Zona de arribo y despacho de mercancía**

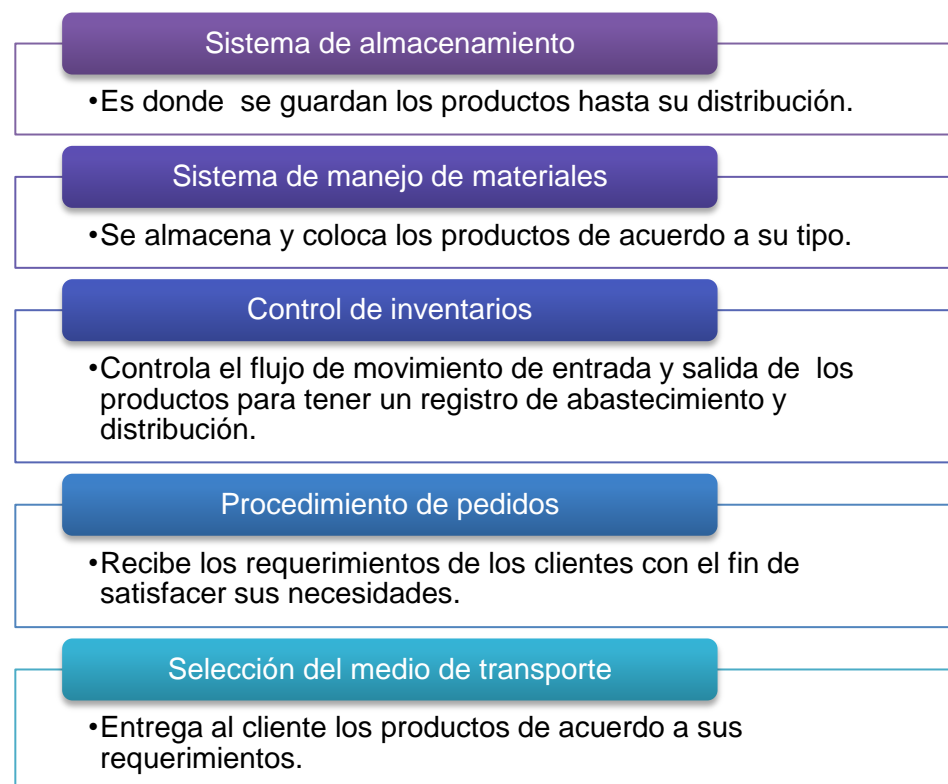
*Fuente: Autora*

## 2.4.2 Criterios para la selección del transporte

Los criterios para la selección del transporte son:

- ✓ Los costos que genera el escoger el transporte
- ✓ El tiempo de tránsito de la mercancía
- ✓ Capacidad del medio de transporte
- ✓ Conocimiento de la ruta de distribución
- ✓ Seguridad de las mercancías

## 2.4.3 Elementos fundamentales de la distribución



**Figura 2.4.3 Elementos fundamentales de la distribución**

*Fuente: Autora*

## **2.5 Problema de ruteo vehicular**

El problema de enrutamiento de vehículos VRP es un problema de optimización combinatoria en los que se debe determinar una serie de rutas para un conjunto de vehículos basados en uno o más depósitos, los cuales se mueven en una red de carretera dada, para entregar los productos a un conjunto de clientes.

La red de carretera puede ser descrita utilizando un grafo donde los arcos son las carreteras y los vértices representan la localización de los clientes y del depósito.

El objetivo del VRP varía dependiendo de la aplicación particular del resultado, unos de los objetivos más comunes son:

- Minimizar el costo total del transporte
- Minimizar la distancia total recorrida
- Minimizar el número de vehículos
- Minimizar el tiempo total del transporte
- Minimizar las penalizaciones por el servicio

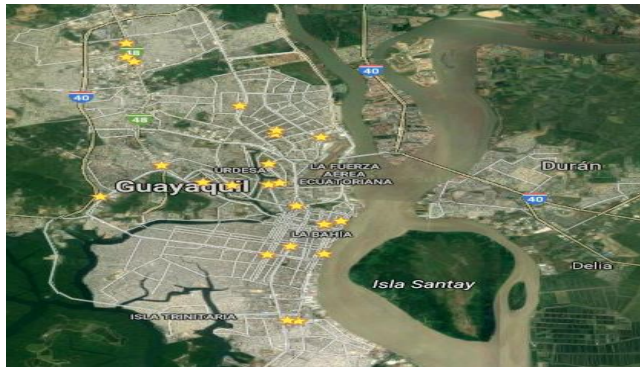
## **2.6 Componentes de un problema de ruteo vehicular**

### **2.6.1 Los Clientes**

El cliente es de importancia en la cadena de abastecimiento ya que es el que genera la demanda de un bien o servicio para una empresa, el cliente puede ser catalogado según la cantidad de demanda, la disponibilidad para la recepción de la mercancía ya que es el que establece la ventana de horario. Características de los clientes:

- Número de clientes.
- Ubicación geográfica.
- Frecuencia en compras.
- Cantidad a adquirir.

Los clientes están dispersos geográficamente en la ciudad de Guayaquil para lo cual se utiliza la herramienta Google Maps, a continuación, se presenta la ubicación de los clientes de la empresa:



**Figura 2.6.1 Localización de clientes**

*Fuente: Tomado de Google Earth*

## **2.6.2 Los Depósitos**

Es el lugar donde se encuentra el producto a ser distribuido, desde el centro de distribución o nodo origen hasta el cliente o nodo destino, usualmente el vehículo parte del depósito y finaliza en el mismo. Existen variaciones en los problemas que dependen de la capacidad máxima de almacenamiento.





**Figura 2.6.2 Ubicación del centro de distribución**

*Fuente: Google Maps*

### **2.6.3 Los Vehículos**

La flota vehicular es el medio por el cual se transporta el producto desde el origen hasta el destino y puede ser homogénea o heterogénea, muchas veces el buen flujo de la cadena de abastecimiento depende de la elección del vehículo a utilizarse. La elección del tipo de vehículo depende del tipo de mercadería, capacidad, restricción en la red vial.

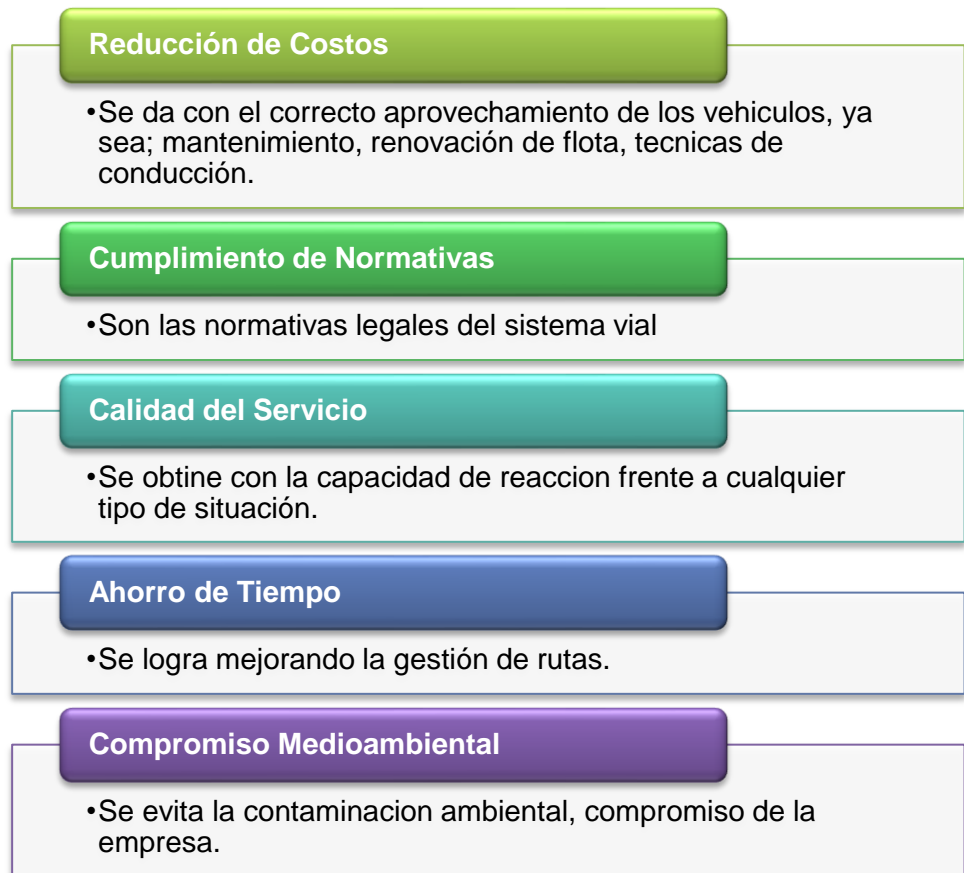
Es posible encontrar algunas restricciones en la flota vehicular cuando en un mismo pedido se registran diferentes tipos de mercaderías los vehículos podrían tener compartimientos, de modo que la capacidad del vehículo dependa del producto a transportar.



**Figura 2.6.3.1 Flota vehicular**

*Fuente: Autora*

Los siguientes beneficios dependen de la correcta utilización de la flota vehicular:



**Figura 2.6.3.2 Beneficios de la selección vehicular**

*Fuente: Autora*

Para gestionar el transporte de productos de ferretería el centro de distribución cuenta con la siguiente flota de camiones:

**Tabla 2.6.3 Descripción de la flota vehicular del CD**

Capacidad (Ton)	Capacidad (Pallets)
3.5	6
5.5	8
12	12

*Fuente: Autora*

## 2.7 Diversas métricas para el cálculo de las distancias

Existen varias formas para realizar el cálculo de la distancia entre dos puntos, las cuales son:

- Distancia Euclidiana
- Distancia Manhattan

### 2.7.1 Distancia Euclidiana

Distancia que se mide entre dos puntos  $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  y  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , la cual se deduce a partir del Teorema de Pitágoras.

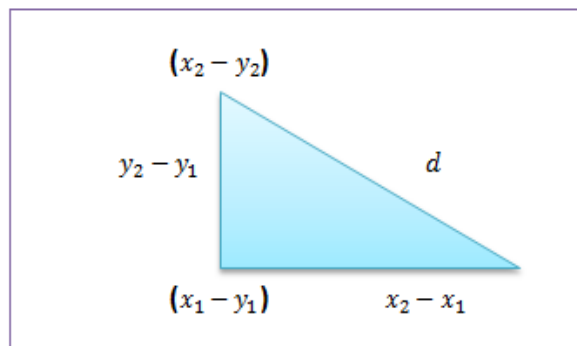
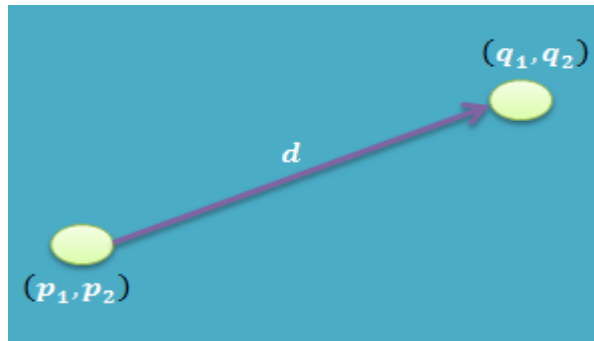


Figura 2.7.1.1 Distancia en un sistema cartesiano

Fuente: Autora

La distancia euclidiana se define como:

$$d(P, Q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$



**Figura 2.7.1.2 Representación de la distancia euclidiana**

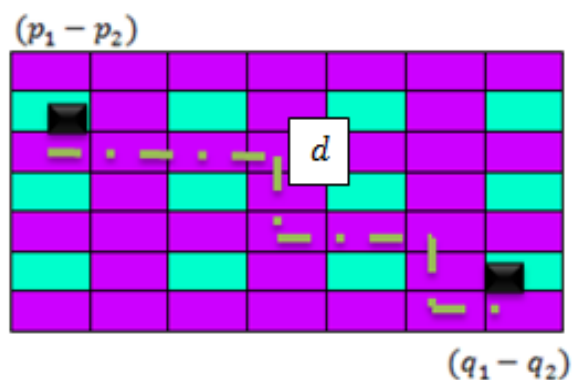
*Fuente: Autora*

## 2.7.2 Distancia Manhattan

La distancia de Manhattan nos indica que la distancia entre dos puntos  $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  y  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  no es la recta que los une sino el número mínimo de tramos a recorrer. La distancia Manhattan es la suma de los valores absolutos entre los puntos.

La fórmula para la distancia de Manhattan es:

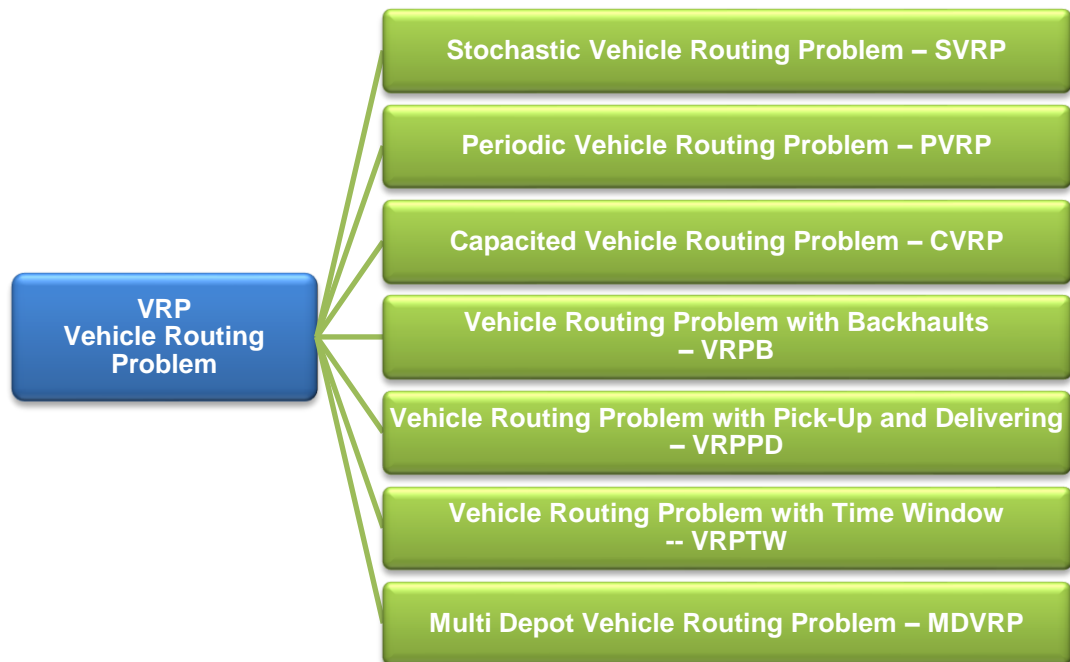
$$d(p, q) = |q_1 - p_1| + |q_2 - p_2|$$



**Figura 2.7.2 Representación del cálculo de distancia Manhattan**

*Fuente: Autora*

## 2.8 Variantes del Vehicle Routing Problem



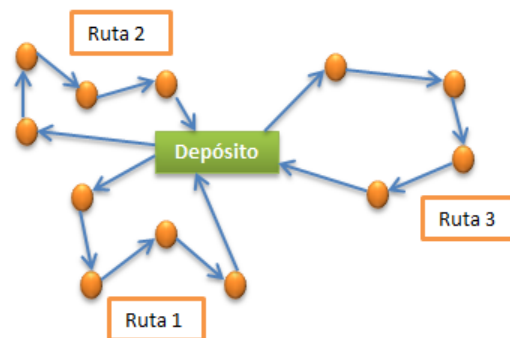
**Figura 2.8 Variantes del VRP**

*Fuente: Autora*

<b>SVRP</b>	Cuando la demanda, número de clientes, tiempo de viaje son aleatorias.
<b>PVRP</b>	Cuando los pedidos pueden ser recibidos en días determinados.
<b>CVRP</b>	Cuando el vehículo tiene una capacidad limitada.
<b>VRPB</b>	Cuando los clientes hacen devoluciones al depósito.
<b>VRPPD</b>	Esto es cuando el cliente puede tener entregas y recogidas al mismo tiempo.
<b>VRPTW</b>	Cuando los clientes establecen una ventana de horario.
<b>MDVRP</b>	Cuando el vendedor tiene varios depósitos para abastecer a los clientes.

## 2.9 Problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo – VRPTW

Es una variante del VRP que consiste en que la demanda de cada cliente  $i \in V \setminus \{0\}$  es atendida por varios vehículos con capacidad limitada  $Q$ , este problema es un problema NP- Duro, el cual combina las características de un (BPP) Bin Packing Problem y el (TSP) Traveling Salesman Problem; además aumentando la restricción de tiempo que se asocia a cada cliente a través de un intervalo  $[t, t + k]$  donde el cliente o ciudad debe ser servido; se planea la entrega de productos, minimiza los costos de transportación y diseñar la rutas de los vehículos que salen y regresan al depósito, satisfaciendo las demandas de los clientes.



**Figura 2.9 Problema de ruteo vehicular**

*Fuente: Autora*

Para la construcción de las rutas el modelo debe cumplir con las siguientes restricciones:

- El vehículo comienza su ruteo desde el depósito y retorna al mismo.
- Cada cliente es visitado una sólo vez por el vehículo.
- Los clientes son atendidos dentro de las franjas de horarios establecidas.
- La demanda de cada cliente es satisfecha en cada visita vehicular.

- La demanda de cada ruta no debe exceder la capacidad  $Q$  de cada vehículo  $v$ .
- Minimizar el costo total.

## 2.10 Modelo matemático del -- VRPTW

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la formulación del problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo (VRPTW), la cual sirve para la creación de las rutas de entrega en un intervalo de tiempo determinado.

Sea  $G = (V, E)$  un grafo no dirigido donde  $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$  representa un conjunto de nodos, en el que  $v_1, \dots, v_n$  son los clientes y  $v_0$  el depósito y  $E = \{(v_i, v_j) / v_i, v_j \in V, i \neq j\}$  es un conjunto de aristas que son las conexiones entre los clientes y el CD. A cada par ordenado  $(v_i, v_j) \in E$  se asocia un costo  $c_{ij} = c_{ji}$  y  $t_{ij} = t_{ji}$ .

Cada cliente  $v_i \in V/v_0$  genera una demanda no negativa para el CD y para el presente trabajo se identificará como  $d_i$ , también tiene asociada un tiempo de servicio o demora  $s_{v_i}$  y un intervalo de tiempo  $[a_{v_i}, b_{v_i}]$  que representa a la franja de horario establecida por el cliente para que un vehículo arribe a él.

La flota de vehículos es representada por  $M$  la cual es conocida, además la longitud que puede recorrer un vehículo es representada por  $r$ .

## Parámetros

M Flota de vehículos

Q Capacidad del vehículo

$c_{ij}$  Costo asociado al arco  $(v_i, v_j) \in E$

$d_i$  Demanda de cada cliente que pertenece al arco  $(v_i, v_j)$

$t_{v_i}$  Es el tiempo de llegada del vehículo hasta el cliente  $v_i$

$s_{v_i}$  Tiempo de servicio o demora  $i$

$[a_{v_i}, b_{v_i}]$  Ventana de horario establecida por el cliente  $v_i$

## Variable de Decisión Binaria

$$x_{ijm} = \begin{cases} 1; & \text{si el arco } (v_i, v_j) \in E \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases}$$

## Modelización del VRPTW:

$$\min \sum_{m \in M} \sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{ij} x_{ijm} \quad (1)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} x_{ijm} = 1 \quad \forall v_i \in V \setminus \{v_0\} \quad (2)$$

$$\sum_{v_i \in \Delta^+(v_0)} x_{i0m} = 1 \quad \forall m \in M \quad (3)$$



$$\sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} X_{ijm} - \sum_{v_j \in \Delta^-(v_i)} X_{jim} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v_i \in V \setminus \{v_0\} \quad (4)$$

$$\sum_{v_i \in V \setminus \{v_0\}} d_i \sum_{v_j \in \Delta^+(v_i)} X_{ijm} \leq Q \quad \forall m \in M \quad (5)$$

$$a_{v_i} \leq t_{v_i} \leq b_{v_i} \quad \forall v_i \in V \setminus \{v_0\} \quad (6)$$

$$x_{ijm} (t_{v_i} + \tilde{t}_{v_i, v_j} - t_{v_j}) \leq 0 \quad \forall (v_i, v_j) \in E, v_i, v_j \neq v_0 \quad (7)$$

$$X_{ijm} \in \{0,1\} \quad \forall (v_i, v_j) \in AE, m \in M \quad (8)$$

$$t_{v_i} \geq 0 \quad \forall v_i \in V \setminus \{v_0\} \quad (9)$$

### Función Objetivo

- Busca minimizar el tiempo de viaje o la distancia recorrida para todos los arcos que pertenecen a la solución.

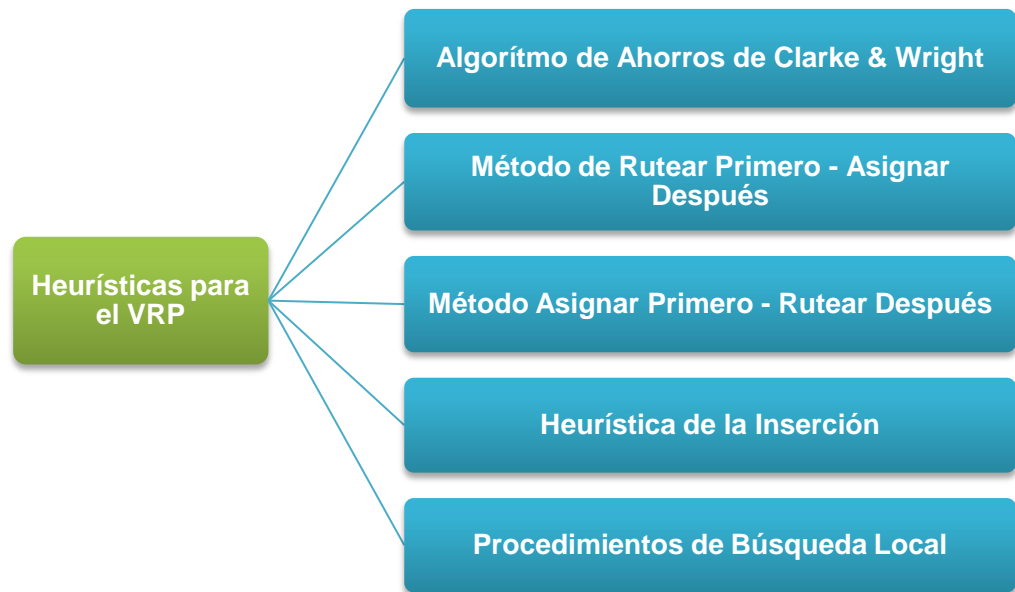
### Restricciones

- En la ecuación 2, la restricción indica que el vehículo debe visitar a uno y solamente a un cliente  $v_i$  por un vehículo  $m$ .

- En la ecuación 3, la restricción indica que el vehículo  $m$  debe terminar en el depósito  $v_0$ .
- La ecuación 4, es la restricción de conservación de flujo.
- En la ecuación 5, esta restricción nos muestra que la demanda  $d_i$  asociada a cada cliente  $v_i$  no puede superar la capacidad  $Q$  del vehículo.
- En la inecuación 6, esta restricción nos muestra el intervalo de tiempo  $[a_{v_i}, b_{v_i}]$  en el que se debe visitar a cada cliente para satisfacer con la demanda y  $t_{v_i}$  es el tiempo de llegada del vehículo hasta el cliente.
- En la inecuación 7, nos indica que un vehículo  $m \in M$  puede visitar  $v_j$  luego de visitar  $v_i$ .
- En las ecuaciones 8 y 9, se establece a la variable binaria y al tiempo de llegada a los clientes son positivos.

## 2.11 Heurísticas para resolver el VRPTW

Existen varios métodos para resolver los problemas de ruteo vehicular con ventanas de tiempo, los cuales son NP-complejo; esto quiere decir que estos problemas son complejos. Para solucionar estos problemas, hay heurísticas entre las que tenemos las siguientes:



**Figura 2.11 Heurísticas para resolver el VRP**

*Fuente: Autora*

**Algoritmo de Ahorros:** en este algoritmo se toma una solución inicial y se va combinando hasta que esas uniones den un ahorro mayor sin violar las restricciones del problema.

**Método de Rutear Primero - Asignar Después:** este método consiste en dos fases, donde se calcula la ruta de visita a todos los clientes y luego se particionada en rutas factibles.

**Método de Asignar Primero - Rutear Después:** en este método se asigna primero los clientes a un grupo o también llamados clúster y después se asignan a una ruta.

**Heurística de la Inserción:** en esta heurística se crea una solución mediante continuas inserciones de clientes en las rutas.

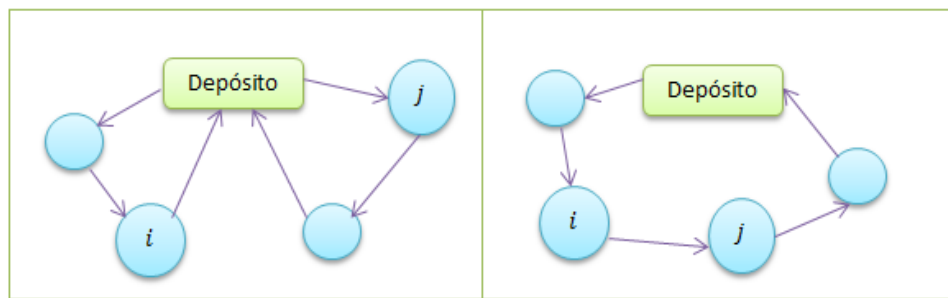
**Procedimientos de Búsqueda Local:** parte de una solución inicial y mediante el procedimiento de búsqueda local se reemplaza por una mejor solución, hasta que la solución no pueda ser mejorada.

### 2.11.1 Características de los métodos heurísticos

- Dan flexibilidad al modelar el problema
- Presentan diversidad en las soluciones
- Hacen uso de los recursos tecnológicos y del tiempo

### 2.12 Heurística de Clarke & Wright

Para dos rutas diferentes  $(0, \dots, i, 0)$  y  $(0, j, \dots, 0)$  pueden ser combinadas formando una nueva ruta  $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ .

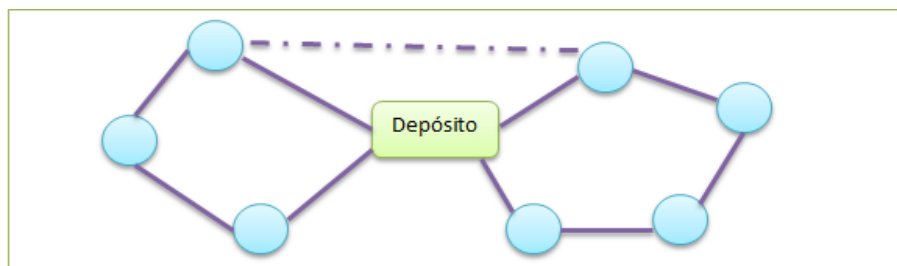


**Figura 2.12.1 Ejemplo de la técnica de ahorros**

*Fuente: Autora*

Luego se calcula el ahorro de unir los vértices  $i$  y  $j$  para fusionarse en una sola ruta  $(0,1,2, i, \dots, i, j, \dots, 2,1,0)$ . El ahorro en distancia obtenido por dicha unión se presenta en la siguiente fórmula:

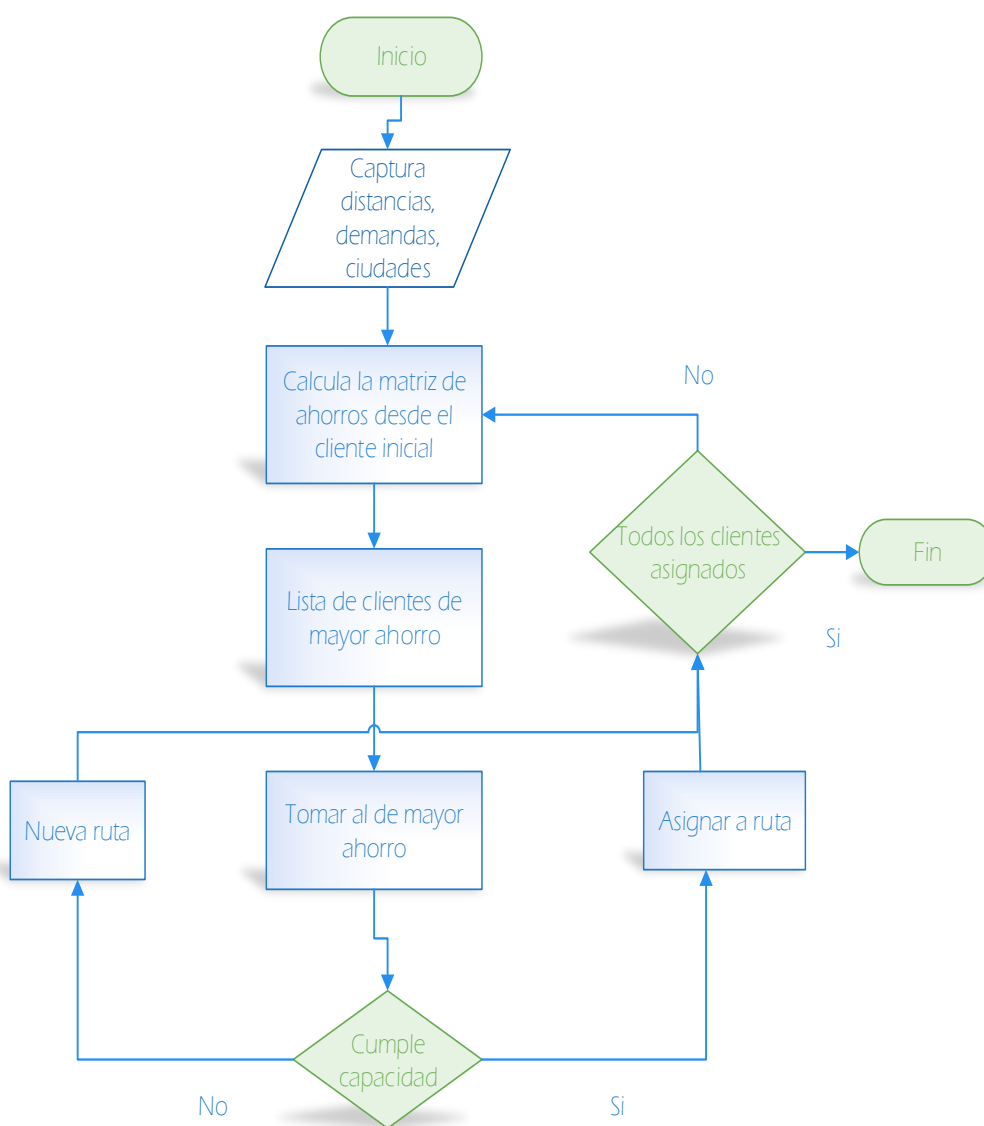
$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$$



**Figura 2.12.2 Cálculo de ahorros**

*Fuente: Autora*

Se unen dos rutas sólo cuando su fusión da una nueva ruta factible.



**Algoritmo 2.12 Clarke & Wright**

*Fuente: (Guasmayan Guasmayan, 2014)*

## 2.13 Modelo tarifario de transporte

El modelo tarifario consiste en establecer el costo de transporte para distintas rutas con diferentes tipos de vehículos para seleccionar la ruta óptima.

### 2.13.1 Componentes del modelo tarifario

**Costos Fijos:** llamados así porque estos costos son permanentes e independientes de la ruta que el vehículo ejecuta, como por ejemplo los costos fijos pueden ser: mano de obra, impuestos, sueldos.

**Costos Variables:** son los componentes que varían dependiendo de la distancia de la ruta, algunos de los costos variables pueden ser: llantas, combustible.

**Parámetros del modelo:** son las variables que dependen del producto que se transporte.

**Parámetros de la ruta:** son las especificaciones de cada ruta de transporte.

**Tabla 2.13.1.1 Formato para los costos fijos**

MODELO TARIFARIO DE TRANSPORTE	
COSTOS FIJOS	
CHASIS + FURGON	
Chasis + Furgón	anual
Matrícula	anual
Seguro	anual
BATERIAS	
Baterías	anual
NÓMINA	
Sueldo del Chofer	anual

MANTENIMIENTO	
Lavado	anual
Mantenimiento	anual
Total de Costos Fijos	\$/km

Fuente: Autora

**Tabla 2.13.1.2 Formato para los costos variables**

MODELO TARIFARIO DE TRANSPORTE	
COSTOS VARIABLES	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	
Precio de Diésel/combustible	\$/galón
Rendimiento del combustible	Km/galón
Consumo de combustible	\$/km
Terreno Plano	\$/km
Rendimiento	Km/galón
Pista Con Gradiente Mediano	\$/km
Rendimiento	Km/galón
Pista Con Gradiente Pronunciada	\$/km
CONSUMO DE LLANTAS	
Precio de llantas	\$
Rendimiento por llanta	km
Consumo de llantas	\$/km
CONSUMO DE ACEITES Y FILTROS	
Aceite y Filtro	\$
Kilómetros de cambio	km
Consumo de aceites y filtros	\$/km
Total de Costos Variables	\$/km

Fuente: Autora

Después de obtener los costos fijos y variables del vehículo se obtendrá el costo de recorrer desde el CD hasta cada cliente.

**Tabla 2.13.1.3 Resultado de los costos del modelo tarifario**

	CHEVROLET
Costos Fijos x Día	
Costos Variables x Km	
Costo Total	

*Fuente: Autora*



# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA EN LA INVESTIGACIÓN

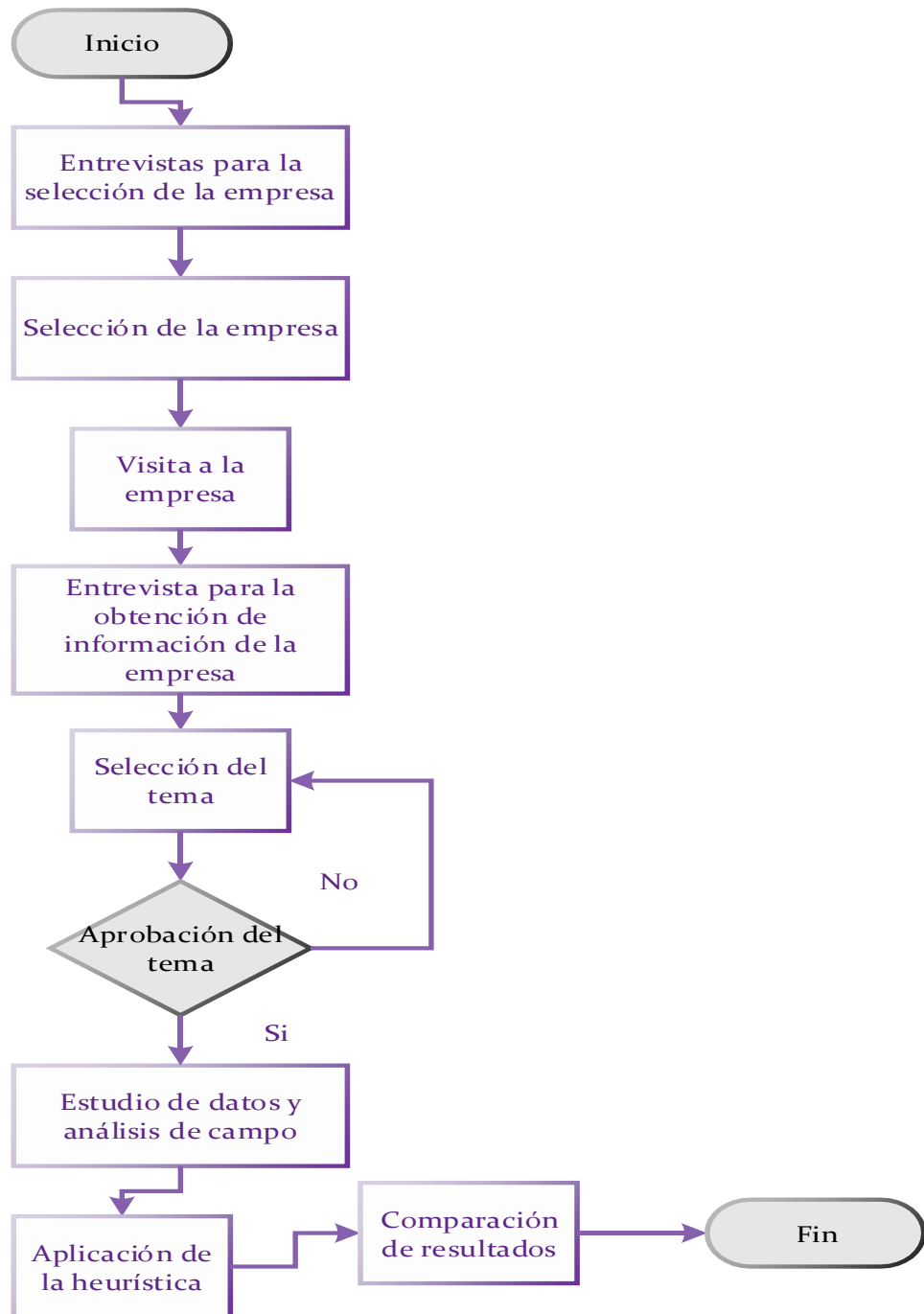


Figura 3 Metodología de trabajo

Fuente: Autora

### 3.1 Organigrama estructural de la empresa

A continuación, se presenta la estructura organizacional de la empresa que se obtuvo como parte de la información y en base a las actividades realizadas por el personal.



Figura 3.1 Organigrama estructural de la empresa

Fuente: Autora

#### Gerente de Operaciones

Es el encargado de integrar los procesos operativos y administrativos. Cumple con las siguientes funciones:

- Dirigir y planificar las actividades generales de la empresa
- Es el representante de la empresa
- Establecer la estrategia para la empresa
- Evaluar y controlar las operaciones con los resultados obtenidos

### **Gerente del Centro de Distribución**

Se encarga de la planificación, recepción, almacenamiento y entrega de los productos a los clientes. Tiene las siguientes funciones:

- Planificar las estrategias para la distribución
- Realizar el seguimiento a los transportistas desde el despacho
- Coordinar con el cliente sus requerimientos

### **Jefe de Logística**

Es el encargado de coordinar y organizar las actividades logísticas del Centro de distribución, el cual debe cumplir las siguientes funciones:

- Supervisar las actividades diarias del Centro de Distribución.
- Coordinar y controlar las funciones de la Cadena de Suministro.
- Dar seguimiento y control a los despachos y a la recepción de la mercancía.

### **Jefe de Operaciones**

Se encarga de las actividades operacionales en el Centro de Distribución con respecto a la salida y entrada de la mercancía, apoya al jefe de logística en la labor de despacho y recepción. Cumple las siguientes funciones:

#### Salida de Mercancía

- Inspeccionar y verificar la salida de la mercancía
- Coordinar con el transportista la planificación de la ruta
- Coordinar las actividades logísticas para la distribución

#### Entrada de Mercancía

- Recepción e inspección de la entrada de la mercancía
- Coordinar la ubicación de la mercancía
- Ajustar el stock del Centro de Distribución

#### **Planificador**

Es el encargado de planificar y verificar el stock en el Centro de Distribución, cumple con las siguientes funciones:

- Identificar los puntos de carga de trabajo.
- Detectar los problemas de asignación de recursos.
- Evaluar las nuevas planificaciones.

#### **Jefe de Bodega**

Es el encargado de las labores concernientes a la recepción, almacenaje, custodia de la existencia física, despacho y embarque de los productos de ferretería. Las principales funciones son:

#### Salida de Mercancía

- Controlar la cantidad y tipo de producto previo a su despacho.
- Ingresar y verificar las salidas del producto
- Coordinar el mantenimiento de los equipos de despacho
- Participar activamente en el despacho de la mercancía.

### Entrada de Mercancía

- Controlar la cantidad de productos previo a su almacenamiento.
- Verificar las entradas del producto.
- Coordinar el mantenimiento de los equipos de recepción de la mercancía.
- Preparar los reportes actualizados de las existencias del Centro de Distribución.

### **Operarios**

El operario es el encargado de desempeñar sus funciones de recepción, almacenaje, preparación de pedidos y despacho de mercancías. Entre sus funciones están las siguientes:

- Preparar los productos ya sea en cargas o unidades de despacho.
- Recepción de productos en el Centro de Distribución.

### **Montacarguista**

Es el encargado de verificar que los montacargas cuenten con los elementos necesarios para su seguridad, que la mercancía que va a ser desplazada sea llevada de buena manera a la zona de embarque.

### 3.2 Flujo de la cadena de suministro



**Figura 3.2 Cadena de abastecimiento**

*Fuente: Autora*

#### **Proveedores**

Es la primera etapa del SCM es la persona o empresa que abastece a otra empresa o depósito. Los proveedores deben cumplir con los plazos y las condiciones de entrega de los productos o servicios y entregar la mercancía en buen estado.

#### **Recepción del producto**

En la segunda etapa del SCM consiste en recibir los productos en el almacén, recibir e inspeccionar los artículos y verificar las cantidades y el estado de la mercancía que ingresa al CD.

### **Almacenamiento**

Es la tercera etapa del SCM el cual consiste en almacenar los productos en el CD, según el tipo de producto se ubica en el almacén para evitar su deterioro y flexibilidad en el momento de realizar el picking; se registra su entrada y salida mediante el código del producto.

### **Recepción del pedido**

Es el proceso por el cual un producto llega al almacén con el objeto de ser clasificados, controlados e introducidos al sistema de gestión del almacén para su posterior ubicación y estar en disposición de ser enviados al cliente.

### **Facturación**

Esta etapa consiste en la facturación de los pedidos de cada cliente, verificando las cantidades de productos y controlando el inventario que se encuentra en el sistema.

### **Asignación del producto**

En esta etapa del SCM se realiza la asignación del vehículo con su respectiva guía de embarque, donde se encuentran todas las especificaciones del producto que se va a embarcar.

### **Proceso de despacho**

Se realiza el picking el cual consiste en seleccionar y recoger las mercancías de sus ubicaciones, esto se realiza con la guía de embarque donde se especifica las cantidades de cajas o unidades de cada producto facturado.

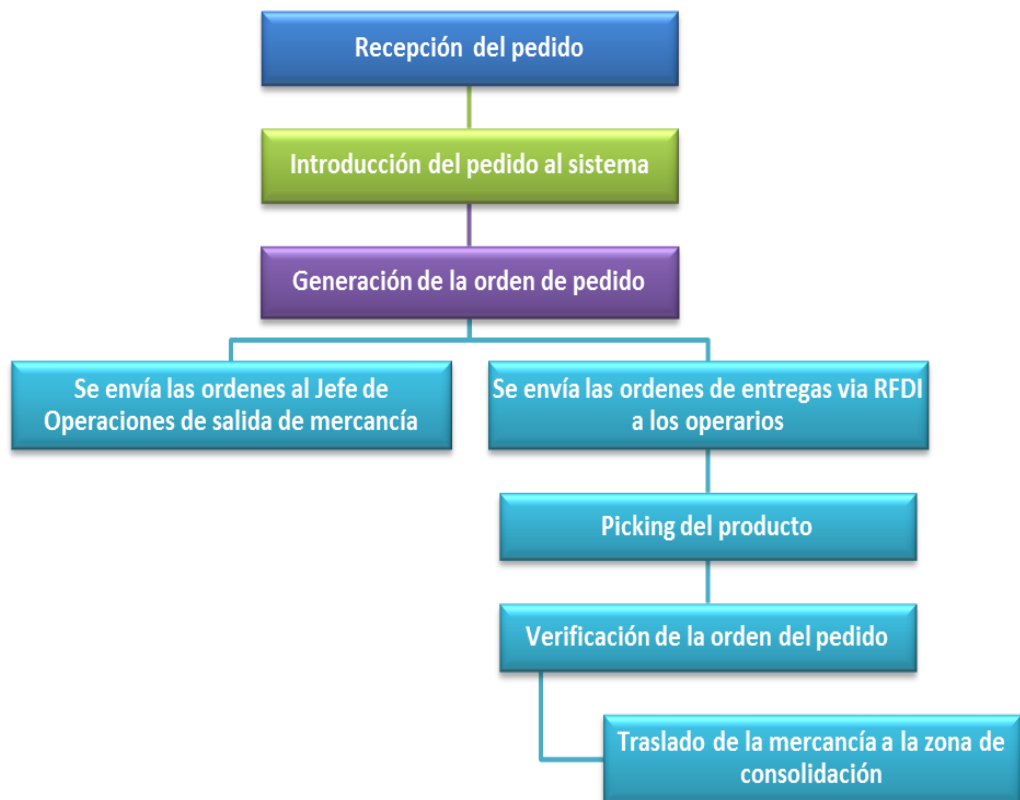
## Distribución

En esta etapa cada camión realiza su ruteo según los mapas que se han entregado con las facturas de cada cliente. En esta etapa se enfocará el proceso de graduación.

## Entrega al cliente

En esta etapa se realiza la entrega del producto al cliente con su respectiva factura.

### 3.3 Flujograma de una orden de pedido



**Figura 3.3 Proceso de una orden de pedido**

*Fuente: Autora*



Son las actividades que se realizan para generarse un pedido:

- ❖ Recepción del pedido: el área de ventas es la que recibe los pedidos de los clientes.
- ❖ Introducción del pedido al sistema: es el proceso de inducción del pedido al sistema SAP.
- ❖ Generación de la orden del pedido: esta orden del pedido se envía RFID a los operarios.
- ❖ Recepción de la orden del pedido por parte del jefe de operaciones: apenas se genera la orden del pedido es enviada al jefe de operaciones.
- ❖ Envío de la orden del pedido a los operarios: son los que realizan el picking de la orden.
- ❖ Picking del producto: recolección de los productos en la bodega.
- ❖ Verificación de la orden del pedido: es realizada por el jefe de operaciones de salida de mercancías.
- ❖ Zona de consolidación: es donde la mercancía ya chequeada espera a ser embarcada para posteriormente ser distribuida.

### 3.4 Estructura organizativa del centro de distribución

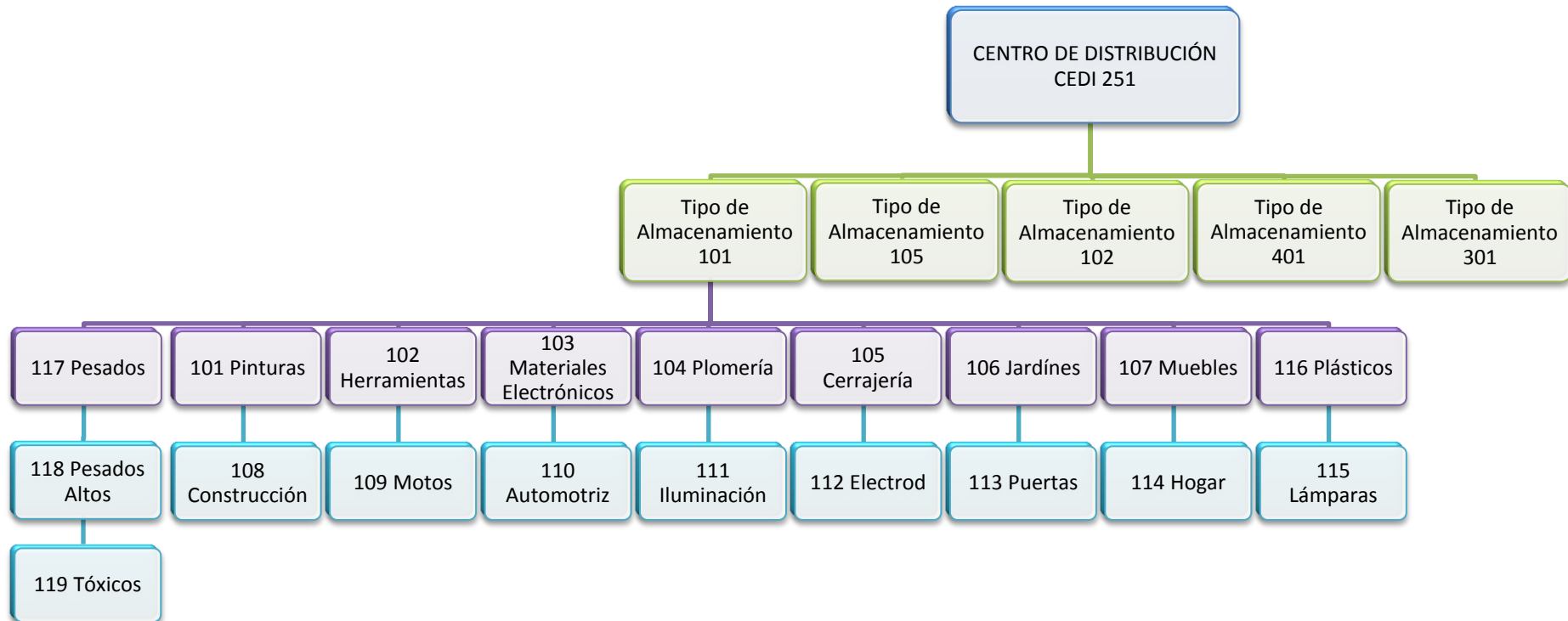


Figura 3.4 Estructura organizativa del CD

Fuente: Autora

A nivel del manejo organizativo del Centro de Distribución se plantea el manejo del almacén, así como también los tipos de almacenes como estrategias mixtas de gestión de almacenes, como, por ejemplo:

- ❖ Tipo de Almacenamiento 101: se ha denominado área caótica o de pulmón es la zona donde llegan todas las mercancías de abastecimiento. Aquí se verifica el número de bultos y estado de la mercancía, además del nombre del proveedor, marca del producto, nombre del producto, código de barras, cantidad de unidades.
  
- ❖ Tipo de Almacenamiento 105: es el área donde se procesa el pedido y se hace el picking del producto que se va a enviar. El pedido se recibe mediante el RFID.
  
- ❖ Tipo de Almacenamiento 102: es el área destinada a los productos que no se pueden poner en las estanterías, también llamado área de piso.
  
- ❖ Tipo de Almacenamiento 401: estas zonas del CD han sido destinados para la mercancía que ha sido devuelta de los clientes, a esta área se la llama área de devolución.
  
- ❖ Tipo de Almacenamiento 301: también llamada área de destrucción de mercancías, aquí se apila los materiales que se van a destruir.

### 3.5 Calendario de actividades

En esta sección se detallan las actividades a realizarse en el presente proyecto.

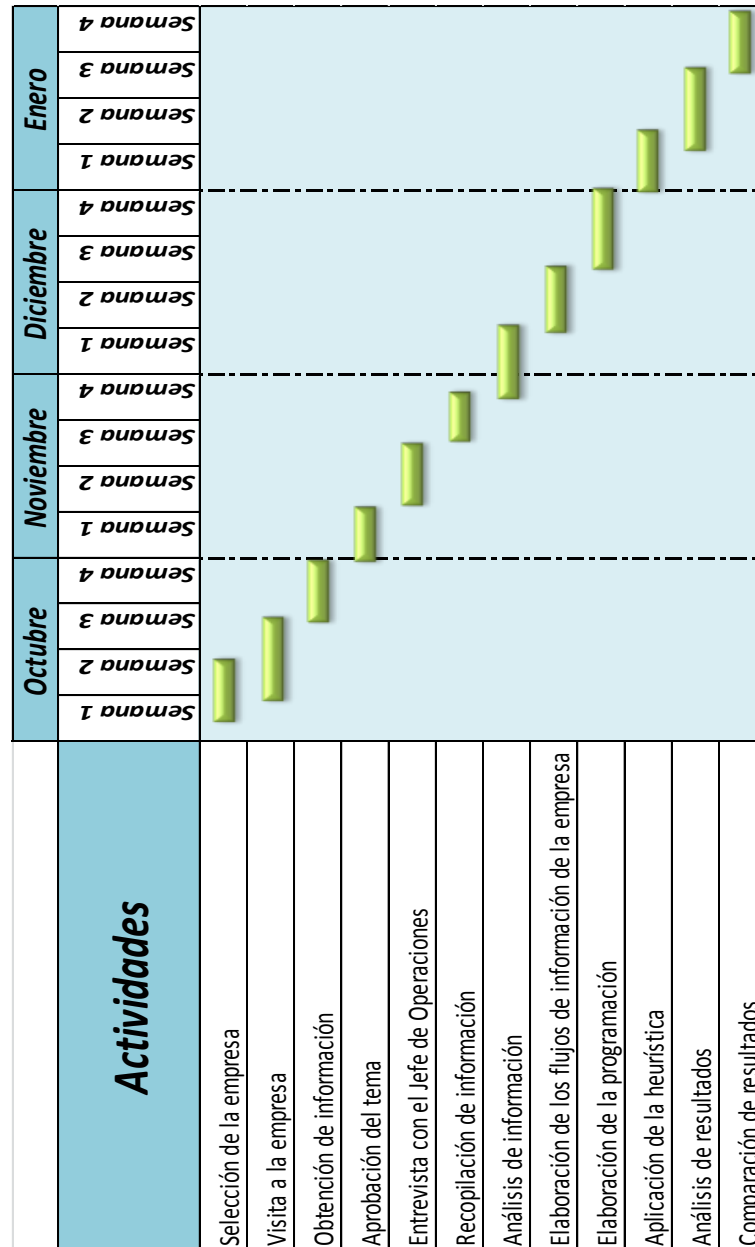


Figura 3.5 Calendario de actividades

Fuente: Autora

# CAPÍTULO 4

## 4. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se dará la solución a cada uno de los problemas que se ha mencionado en los capítulos anteriores, para esto se utilizará un software de programación avanzada Wólfram Matemática 10.0 la optimización de las rutas se realizará por medio de la heurística de Clarke & Wright que se mencionó anteriormente, el cual se resolverá con el programa.

### 4.1 Datos de la empresa

El Centro de Distribución cuenta con la base de datos de ubicación de los clientes, la demanda de cada uno de ellos y las ventanas de tiempo según el cliente y la Comisión de Tránsito del Guayas en el cual deben ser atendidos.

Como la empresa no posee un sistema de GPS, se utilizó el programa de Google Maps para obtener las coordenadas y así calcular las distancias entre cada cliente.

#### 4.1.1 Coordenada de los clientes

Las coordenadas geográficas son un sistema de referencia que utiliza las dos coordenadas angulares latitud y longitud, para así

poder determinar la distancia entre ellos, estas coordenadas se pueden observar a continuación:



**Figura 4.1.1 Coordenadas de los clientes**

*Fuente: Autora*

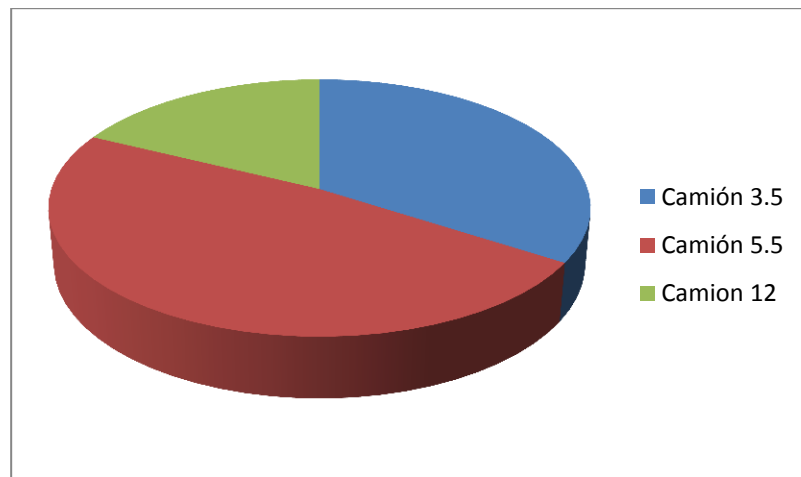
Para cada conjunto de clientes se calcula la distancia entre cada uno de los clientes y el depósito; con la utilización de la métrica de Manhattan se calculará la menor distancia entre dos puntos  $P_1 (x_1, y_1)$  y  $P_2 (x_2, y_2)$ , siendo el depósito representado por  $P_1$  y los clientes representados por  $P_2$ . El cálculo para las distancias se realiza con la siguiente fórmula:

$$d(p, q) = |q_1 - p_1| + |q_2 - p_2|$$

Se escogió la Métrica de Manhattan ya que es la métrica que realiza el cálculo por tramos entre dos puntos, como una cuadrícula; a diferencia del cálculo de distancia euclidiana que toma una línea recta para calcular la distancia entre dos puntos.

#### 4.1.2 Demanda de los clientes

Es la cantidad de bienes o servicios que los consumidores desean, es decir, convierten sus deseos en órdenes específicas y en fechas programadas. A los diversos clientes se los ha agrupado en tres grupos según su ubicación ya que la capacidad de los vehículos varía.



**Figura 4.1.2 Representación gráfica de los clientes**

*Fuente: Autora*

#### 4.1.3 Ventanas de horarios

La ventana de horario  $[a_{v_i}, b_{v_i}]$  es establecida por cada cliente para satisfacer su demanda  $d_i$ , y cumplir el horario programado. Los clientes tienen programado las ventanas de horarios en los que el CD tiene que entregar la mercancía.

## **4.2 Modelo tarifario de transporte**

Para calcular el costo de distribución tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de distribución} = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} * \text{Distancia}$$

### **4.2.1 Costos fijos del modelo**

Costo del vehículo: es el valor de adquisición del vehículo, considerando que la vida útil del vehículo es de 5 años.

Costo de la matrícula: es el valor de porcentaje de 2.5% sobre el valor del vehículo que lo impone la Comisión de Tránsito del Ecuador.

Costo del seguro: es el de porcentaje de 4.5% sobre el valor del vehículo según la compañera aseguradora.

Costo de batería: es el valor que se costó a distintas concesionarias para los distintos tipos de vehículos.

Costos de sueldos: esta información la facilitó la empresa.

Costo de lavado: valor que se costó a una empresa de lavado de camiones, el lavado se realiza mensualmente.

Costo de mantenimiento: es el valor de porcentaje de 4% sobre el valor del vehículo.

### **4.2.2 Costos variables del modelo**

Consumo de combustible: para determinar el consumo de combustible se toma en consideración el rendimiento del mismo,



para esto se obtiene el precio de diésel que es de \$1.04 por galón. La fórmula de consumo de combustible es:

$$\text{Consumo de Combustible} = \frac{\text{Precio del combustible}}{\text{Rendimiento del combustible}} = \frac{\$}{\text{km}}$$

Consumo de llantas: para determinar el consumo de las llantas debemos tener en cuenta el rendimiento de cada vehículo según sea el tipo, y además está relacionado con los kilómetros que recorre diariamente.

$$\text{Consumo de llantas} = \frac{\text{Precio de llantas} * \text{cantidad de llantas}}{\text{Rendimiento de llantas}} = \frac{\$}{\text{km}}$$

Consumo de aceites y filtros: existen tres tipos de filtros que hay que considerar, filtro de aceite, filtro de combustible y los filtros de aire para un buen funcionamiento de los vehículos.

$$\text{Consumo de aceite} = \text{Precio} * \text{Consumo} = \frac{\$}{\text{galón}} * \frac{\text{galón}}{\text{km}} = \frac{\$}{\text{km}}$$

#### **4.2.3 Resultado de los costos fijos y variables**

Costos Fijos: se considera los 312 días que el CD labora.

$$\text{Costos Fijos} = \frac{\text{Costos fijos}}{\text{Días laborables del año}}$$

Costos Variables: estos costos se consideran por km recorrido.

$$\text{Costos Variables} = \frac{\$}{\text{km}}$$

### 4.3 Heurística de Clarke & Wright

Con la utilización del software Wólfram Matemática se programó la heurística de ahorros siguiendo los pasos:

#### Paso # 1 Inicialización

Para cada cliente  $i$  construir la ruta  $(1, i, 1)$

#### Paso # 2 Cálculo de ahorros

Se calcula  $S_{ij} = C_{i1} + C_{1j} - C_{ij}$  para cada par de clientes  $i$  y  $j$

#### Paso # 3 Mejorar la unión

Sea  $S_{i^*j^*} = \max S_{ij}$ , donde el máximo se toma entre los ahorros que no han sido considerados todavía. Sean  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  las rutas que contienen a los clientes  $i^*$  y  $j^*$ . Si  $i^*$  es el último cliente de  $r_{i^*}$  y  $j^*$  es el primer cliente de  $r_{j^*}$  y la combinación de  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  es factible, entonces se combinan.

#### Paso # 4 Eliminar futuras consideraciones

$S_{i^*j^*}$  si quedan ahorros por examinar ir al paso 3, sino terminar.

### Algoritmo 4.3 Clarke & Wright

*Fuente: (Sandoya, 2007)*

#### 4.4 Resultados del modelo tarifario

Para esta investigación se utilizó una flota heterogénea ya que la variedad de clientes con que cuenta el CD los obliga a tener diversa flota. Para cada flota vehicular se calculó el modelo tarifario que nos permite conocer el costo total de distribución.

##### 4.4.1 Modelo tarifario para el vehículo de 3.5 TN

**Tabla 4.4.1.1 Costos fijos del vehículo de 3.5 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 3.5 TN		
COSTOS FIJOS		
CHASIS + FURGON		27.790,00
Chasis + Furgón	anual	5.558
Matricula 2.5%	anual	694.75
Seguro 4.5%	anual	1.250
BATERIAS		
Baterías	anual	150
NÓMINA		
Sueldo del Chofer	anual	9.600
MANTENIMIENTO		
Lavado	anual	360
Mantenimiento 4%	anual	1.112
Total de Costos Fijos	\$/km	18,724.75

*Fuente: Autora*

**Tabla 4.4.1.2 Costos variables del vehículo de 3.5 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 3.5 TN		
COSTOS VARIABLES		
CONSUMO DE COMBUSTIBLE		
Precio de Diésel/combustible	\$/galón	1.04
Rendimiento del combustible	\$/km	20.00
Consumo de combustible	Km/galón	0.052
Terreno Plano	Km/galón	0.05
Rendimiento	\$/km	17.65
Pista Con Gradiente Mediano	Km/galón	0.06
Rendimiento	\$/km	15.88
Pista Con Gradiente Pronunciada	Km/galón	0.07
CONSUMO DE LLANTAS		
Precio de llantas	\$	1500
Rendimiento por llanta	km	80.000
Consumo de llantas	\$/km	0.018
CONSUMO DE ACEITES Y FILTROS		
Aceite y Filtro	\$	50.00
Kilómetros de cambio	km	5.000
Consumo de aceite y filtro	\$/km	0.01
Total de Costos Variables	\$/galón	0.13

*Fuente: Autora*

**Tabla 4.4.1.3 Resultados del modelo tarifario del vehículo de 3.5 TN**

	3.5 TN
Costos Fijos	60.01
Costos Variables	0.13
Costo Total	60.14

*Fuente: Autora*

Se realiza el cálculo del costo de distribución para cada camión

$$\text{Costo de distribución} = 60.01 + 0.13 * \text{Distancia}$$

#### 4.4.2 Modelo tarifario para el vehículo de 5.5 TN

**Tabla 4.4.2.1 Costos fijos del vehículo de 5.5 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 5.5 TN		
COSTOS FIJOS		
CHASIS + FURGON		33.190,00
Chasis + Furgón	anual	6.638
Matricula 2.5%	anual	829.75
Seguro 4.5%	anual	1.494
BATERIAS		
Baterías	anual	180
NÓMINA		
Sueldo del Chofer	anual	9.600
MANTENIMIENTO		
Lavado	anual	420
Mantenimiento 4%	anual	1.328
Total de Costos Fijos	\$/km	20,489.75

*Fuente: Autora*

**Tabla 4.4.2.2 Costos variables del vehículo de 5.5 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 5.5 TN		
COSTOS VARIABLES		
CONSUMO DE COMBUSTIBLE		
Precio de Diésel/combustible	\$/galón	1.04
Rendimiento del combustible	\$/km	20.00
Consumo de combustible	Km/galón	0.052
Terreno Plano	Km/galón	0.05
Rendimiento	\$/km	17.65
Pista Con Gradiente Mediano	Km/galón	0.06
Rendimiento	\$/km	15.88
Pista Con Gradiente Pronunciada	Km/galón	0.07
CONSUMO DE LLANTAS		
Precio de llantas	\$	1.800
Rendimiento por llanta	km	80.000
Consumo de llantas	\$/km	0.022
CONSUMO DE ACEITES Y FILTROS		
Aceite y Filtro	\$	70.00

Kilómetros de cambio	km	5000
Costo de aceite y filtro	\$/km	0.014
Total de Costos Variables	\$/galón	0.138

Fuente: Autora

**Tabla 4.4.2.3 Resultados del modelo tarifario del vehículo de 5.5 TN**

	5.5 TN
Costos Fijos	65.67
Costos Variables	0.14
Costo Total	65.81

Fuente: Autora

Se realiza el cálculo del costo de distribución para cada camión

$$\text{Costo de distribución} = 65.67 + 0.14 * \text{Distancia}$$

#### 4.4.3 Modelo tarifario para el vehículo de 12 TN

**Tabla 4.4.3.1 Costos fijos del vehículo de 12 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 12 TN		
COSTOS FIJOS		
CHASIS + FURGON		73.990,00
Chasis + Furgón	anual	14.798
Matricula 2.5%	anual	1.849
Seguro 4.5%	anual	3.329
BATERIAS		
Baterías	anual	465
NÓMINA		
Sueldo del Chofer	anual	9.600
MANTENIMIENTO		
Lavado	anual	480
Mantenimiento 4%	anual	2.959
Total de Costos Fijos	\$/km	33,480.00

Fuente: Autora

**Tabla 4.4.3.2 Costos variables del vehículo de 12 TN**

CAMIÓN CHEVROLET 12 TN		
COSTOS VARIABLES		
CONSUMO DE COMBUSTIBLE		
Precio de Diésel/combustible	\$/galón	1.04
Rendimiento del combustible	\$/km	20
Consumo de combustible	Km/galón	0.052
Terreno Plano	Km/galón	0.05
Rendimiento	\$/km	17.65
Pista Con Gradiente Mediano	Km/galón	0.06
Rendimiento	\$/km	15.88
Pista Con Gradiente Pronunciada	Km/galón	0.07
CONSUMO DE LLANTAS		
Precio de llantas	\$	2.700
Rendimiento por llanta	km	80.000
Consumo de llantas	\$/km	0.03375
CONSUMO DE ACEITES Y FILTROS		
Aceite y Filtro	\$	90
Kilómetros de cambio	km	5.000
Costo de aceite y filtro	\$/km	0.018
Total de Costos Variables	\$/galón	0.153

*Fuente: Autora*

**Tabla 4.4.3.3 Resultados del modelo tarifario del vehículo de 12 TN**

	12 TN
Costos Fijos	107.31
Costos Variables	0.15
Costo Total	107.46

*Fuente: Autora*

Se realiza el cálculo del costo de distribución para cada camión

$$\text{Costo de distribución} = 107.31 + 0.15 * \text{Distancia}$$

#### 4.4.4 Resultados del modelo tarifario según la frecuencia

En esta sección se puede observar en la tabla los costos de distribución según sea la frecuencia, ya sea diaria considerando los días activos de la empresa, semanal y anual.

**Tabla 4.4.4 Modelo tarifario según la frecuencia**

CHEVROLET					
Frecuencia	Capacidad	Costos de distribución (\$ unid)	N° de camiones	Costos de distribución (\$)	Total (\$)
Diaria	3.5 TN	60.14	4	240.56	891.99
	5.5 TN	65.81	5	329.05	
	12 TN	107.46	3	322.38	
Semanal	3.5 TN	360.84	4	1443.36	5351.94
	5.5 TN	394.86	5	1974.3	
	12 TN	644.76	3	1934.28	
Anual	3.5 TN	3127.28	4	12509.12	46383.48
	5.5 TN	3422.12	5	17110.6	
	12 TN	5587.92	3	16763.76	

*Fuente: Autora*

#### 4.5 Resultados de la Heurística

Se presentarán los resultados obtenidos a cada conjunto de clientes y la mejora que se realizó con la utilización de la heurística Clarke & Wright.

##### 4.5.1 Resultados de la heurística para el vehículo de 3.5 TN

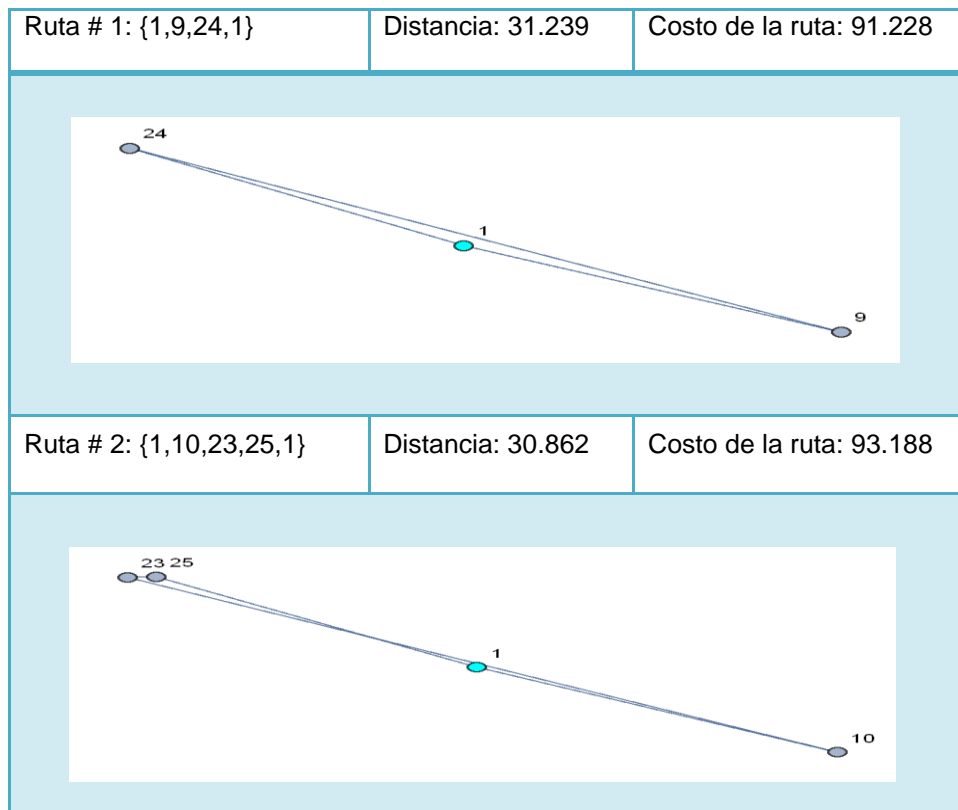
La heurística encontró 18 rutas factibles las cuales se detallan a continuación, con una distancia total recorrida de 403.155 y un costo total de 1646.829.



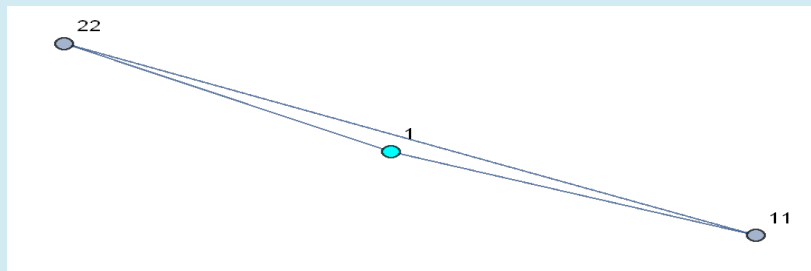
**Tabla 4.5.1 Resultados de la Heurística para el vehículo 3.5 TN**

		Distancia Recorrida (Km)	Costo de la Ruta (\$)	Tiempo de Recorrido (H)
Ruta #1	{1,9,24,1}	31.239	91.228	1.10
Ruta #2	{1,10,23,25,1}	30.862	93.188	1.10
Ruta #3	{1,11,22,1}	30.420	93.143	1.10
Ruta #4	{1,13,12,41,1}	24.184	92.501	1
Ruta #5	{1,8,3,1}	23.957	91.448	1
Ruta #6	{1,39,7,19,1}	24.341	91.487	1
Ruta #7	{1,32,42,1}	26.991	91.760	1
Ruta #8	{1,20,31,1}	24.857	91.540	1.15
Ruta #9	{1,44,30,45,1}	19.963	92.066	1
Ruta #10	{1,28,29,27,43,1}	22.478	91.295	1.05
Ruta #11	{1,26,37,1}	11.949	91.138	1
Ruta #12	{1,21,36,1}	19.499	90.989	1.05
Ruta #13	{1,35,34,17,1}	17.799	90.813	1
Ruta #14	{1,33,18,1}	26.393	91.669	1.2
Ruta #15	{1,46,16,1}	15.568	90.584	1
Ruta #16	{1,14,38,15,6,1}	17.672	90.800	1
Ruta #17	{1,4,5,1}	15.246	90.167	1.07
Ruta #18	{1,40,2,1}	19.737	91.013	1.05
Total		403.155	1646.829	18.87

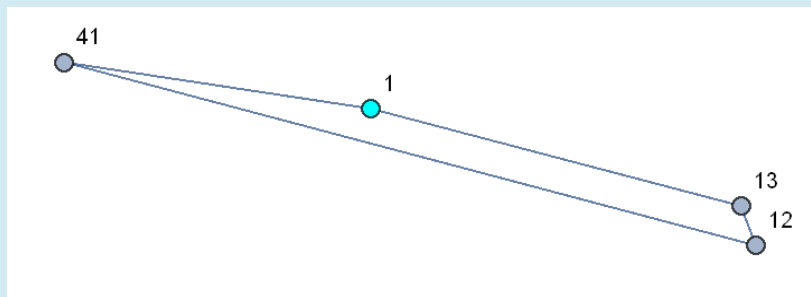
Fuente: Autora



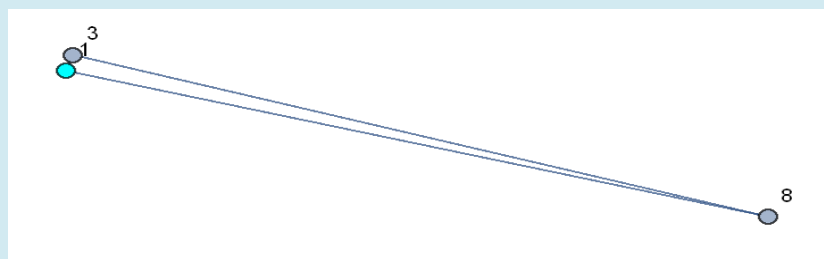
Ruta # 3: {1,11,22,1}	Distancia: 30.420	Costo de la ruta: 93.143
-----------------------	-------------------	--------------------------



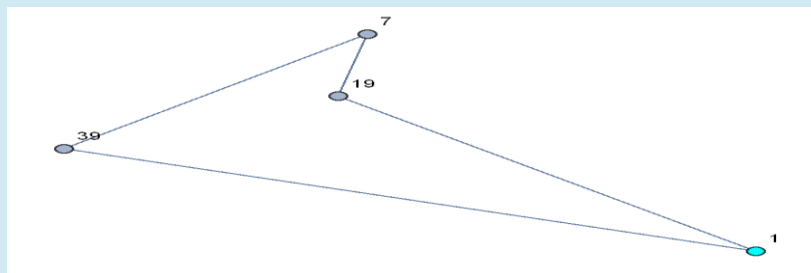
Ruta # 4: {1,13,12,41,1}	Distancia: 24.184	Costo de la ruta: 92.501
--------------------------	-------------------	--------------------------



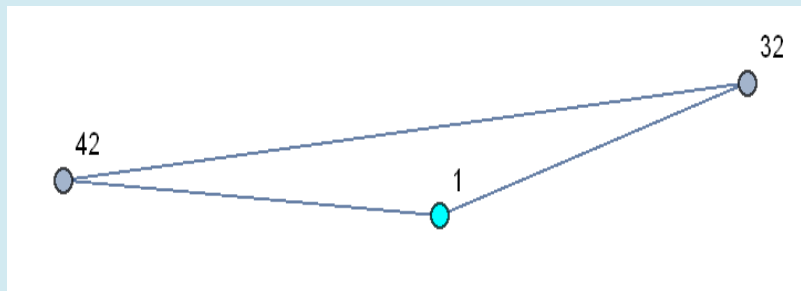
Ruta # 5: {1,8,3,1}	Distancia: 23.957	Costo de la ruta: 91.448
---------------------	-------------------	--------------------------



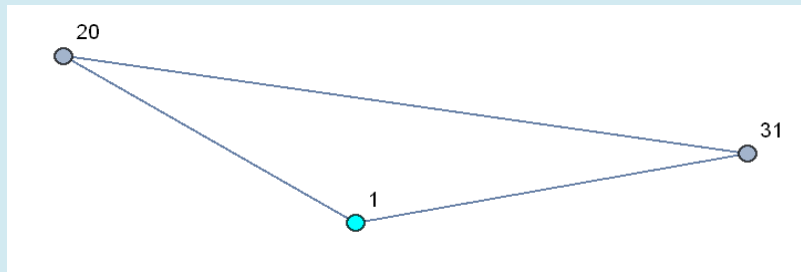
Ruta # 6: {1,39,7,19,1}	Distancia: 24.341	Costo de la ruta: 91.487
-------------------------	-------------------	--------------------------



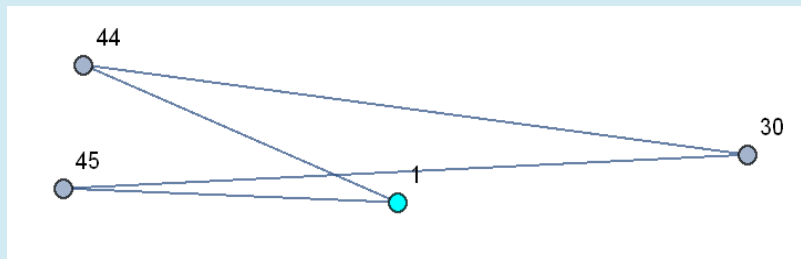
Ruta # 7: {1,32,42,1}	Distancia: 26.991	Costo de la ruta: 91.760
-----------------------	-------------------	--------------------------



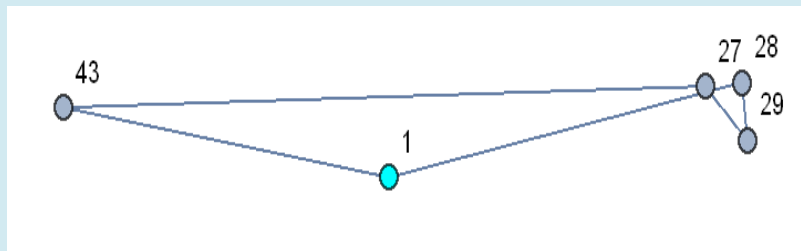
Ruta # 8: {1,20,31,1}	Distancia: 24.857	Costo de la ruta: 91.540
-----------------------	-------------------	--------------------------



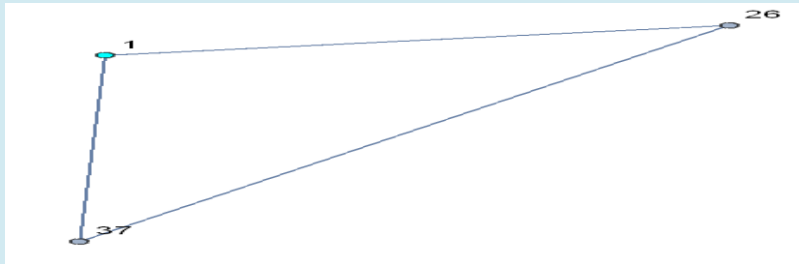
Ruta # 9: {1,44,30,45,1}	Distancia: 19.963	Costo de la ruta: 92.066
--------------------------	-------------------	--------------------------



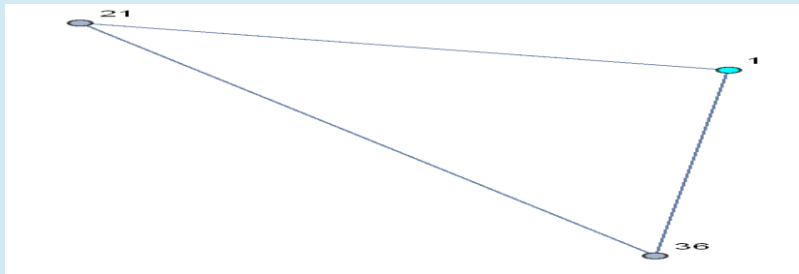
Ruta#10:{1,28,29,27,43,1}	Distancia: 22.478	Costo de la ruta: 91.295
---------------------------	-------------------	--------------------------



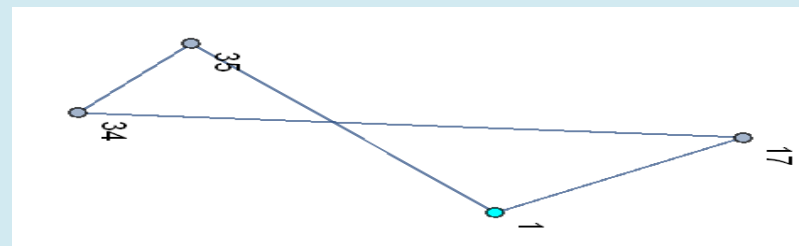
Ruta # 11: {1,26,37,1}	Distancia: 11.949	Costo de la ruta: 91.138
------------------------	-------------------	--------------------------



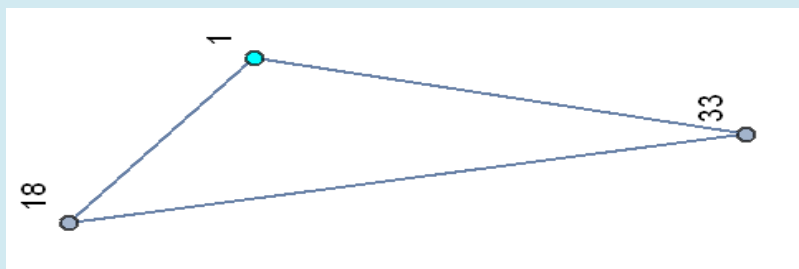
Ruta # 12: {1,21,36,1}	Distancia: 19.499	Costo de la ruta: 90.989
------------------------	-------------------	--------------------------



Ruta #13: {1,35,34,17,1}	Distancia: 17.799	Costo de la ruta: 90.813
--------------------------	-------------------	--------------------------



Ruta #14: {1,33,18,1}	Distancia: 26.393	Costo de la ruta: 91.669
-----------------------	-------------------	--------------------------



Ruta #15: {1,46,16,1}	Distancia: 15.568	Costo de la ruta: 90.584
Ruta #16: {1,14,38,15,6,1}	Distancia: 17.672	Costo de la ruta: 90.800
Ruta #17: {1,4,5,1}	Distancia: 15.246	Costo de la ruta: 90.167
Ruta #18: {1,40,2,1}	Distancia: 19.737	Costo de la ruta: 91.013

#### 4.5.2 Resultados de la heurística para el vehículo de 5.5 TN

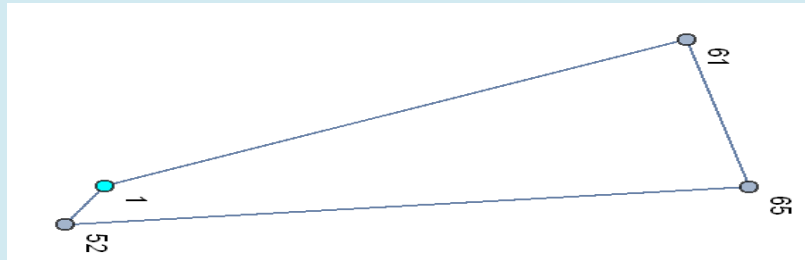
La heurística encontró 29 rutas factibles las cuales se detallan a continuación, con una distancia total recorrida de 741.561 y un costo total de 2318.672

**TABLA 4.5.2 Resultados de la Heurísticas para el vehículo de 5.5 TN**

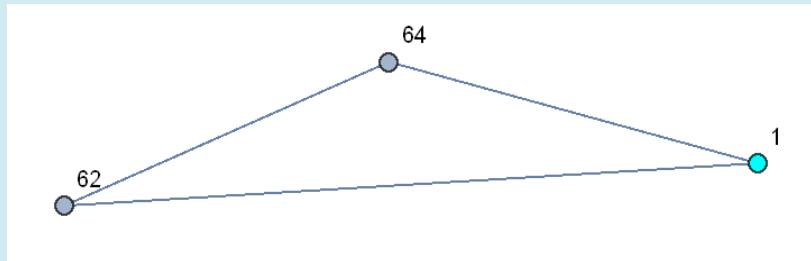
		<b>Distancia Recorrida (Km)</b>	<b>Costo de la Ruta (\$)</b>	<b>Tiempo de Recorrido (H)</b>
Ruta #1	{1,61,65,52,1}	38.173	107.614	1.45
Ruta #2	{1,62,64,1}	25.707	106.909	1.26
Ruta #3	{1,51,54,1}	30.465	99.935	1.20
Ruta #4	{1,55,58,1}	31.051	99.017	1.22
Ruta #5	{1,53,10,1}	31.252	99.065	1.22
Ruta #6	{1,9,23,1}	31.332	90.057	1.22
Ruta #7	{1,56,24,11,1}	32.291	91.591	1.25
Ruta #8	{1,22,25,12,1}	29.749	90.835	1.18
Ruta #9	{1,59,60,13,1}	22.925	68.880	1.00
Ruta #10	{1,8,39,1}	24.698	69.128	1.22
Ruta #11	{1,57,7,19,1}	21.740	68.714	1.12
Ruta #12	{1,41,40,1}	20.842	67.188	1.09
Ruta #13	{1,32,42,28,29,1}	23.164	68.913	1.17
Ruta #14	{1,20,27,43,1}	21.249	68.225	1.11
Ruta #15	{1,31,26,35,1}	22.906	67.477	1.16
Ruta #16	{1,44,37,1}	22.812	67.464	1.16
Ruta #17	{1,30,33,1}	21.236	67.243	1.11
Ruta #18	{1,63,45,50,1}	29.669	99.824	1.39
Ruta #19	{1,49,48,46,1}	27.142	96.670	1.30
Ruta #20	{1,21,18,6,1}	23.267	66.408	1.18
Ruta #21	{1,36,38,1}	25.230	69.402	1.24
Ruta #22	{1,34,4,3,1}	25.214	66.400	1.24
Ruta #23	{1,17,1}	23.086	66.102	1.17
Ruta #24	{1,47,1}	23.019	96.093	1.17
Ruta #25	{1,16,1}	26.671	96.044	1.29
Ruta #26	{1,14,1}	21.663	66.043	1.12
Ruta #27	{1,15,1}	22.111	65.966	1.14
Ruta #28	{1,5,1}	22.640	65.759	1.15
Ruta #29	{1,2,1}	20.257	65.706	1.08
<b>Total</b>		<b>741.561</b>	<b>2.318.672</b>	<b>34.61</b>

*Fuente: Autora*

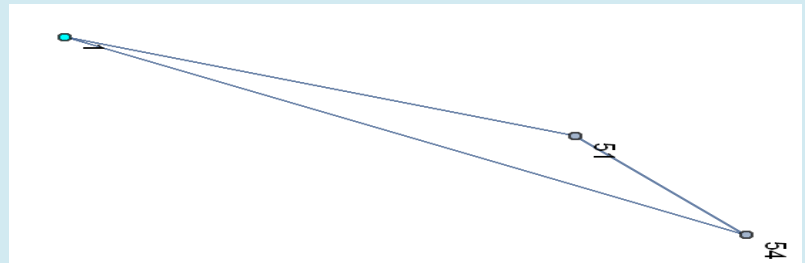
Ruta # 1: {1,61,65,52,1}	Distancia: 38.173	Costo de la ruta: 107.614
--------------------------	-------------------	---------------------------



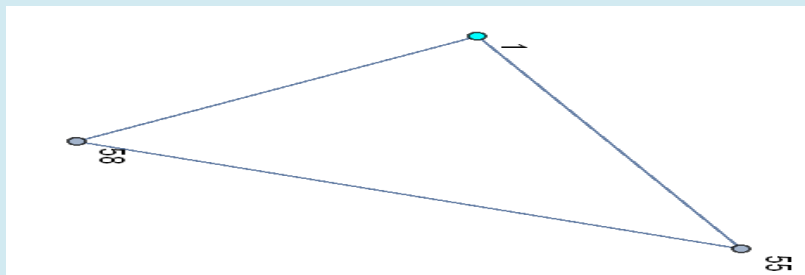
Ruta # 2: {1,62,64,1}	Distancia: 25.707	Costo de la ruta: 106.909
-----------------------	-------------------	---------------------------



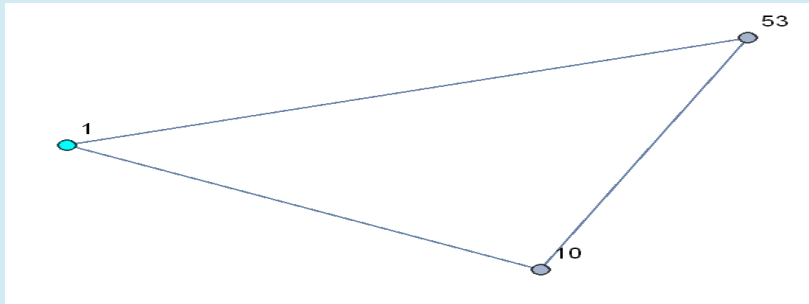
Ruta # 3: {1,51,54,1}	Distancia: 30.465	Costo de la ruta: 99.935
-----------------------	-------------------	--------------------------



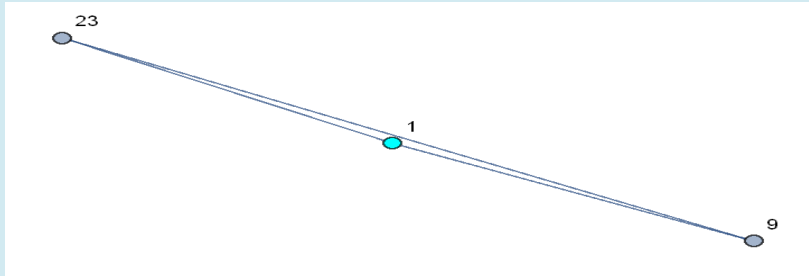
Ruta # 4: {1,55,58,1}	Distancia: 31.051	Costo de la ruta: 99.017
-----------------------	-------------------	--------------------------



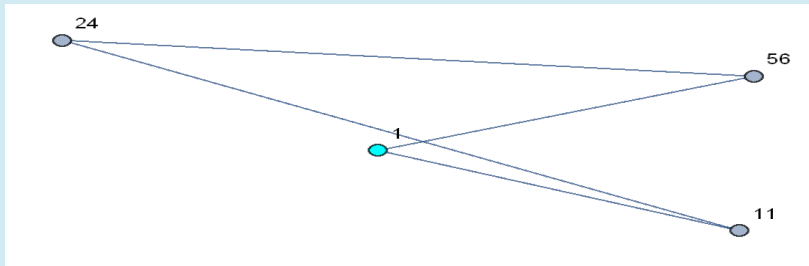
Ruta # 5: {1,53,10,1}	Distancia: 31.252	Costo de la ruta: 99.065
-----------------------	-------------------	--------------------------



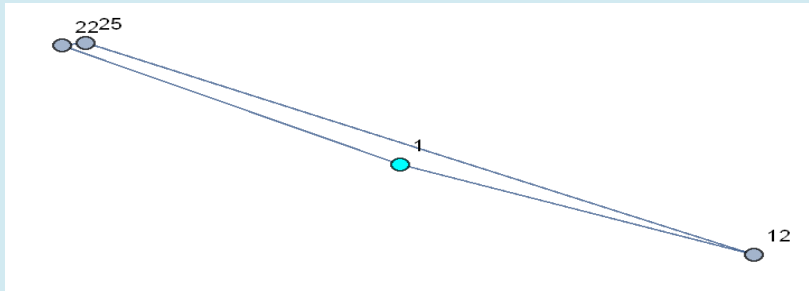
Ruta # 6: {1,9,23,1}	Distancia: 31.332	Costo de la ruta: 90.057
----------------------	-------------------	--------------------------



Ruta # 7: {1,56,24,11,1}	Distancia: 32.291	Costo de la ruta: 91.591
--------------------------	-------------------	--------------------------

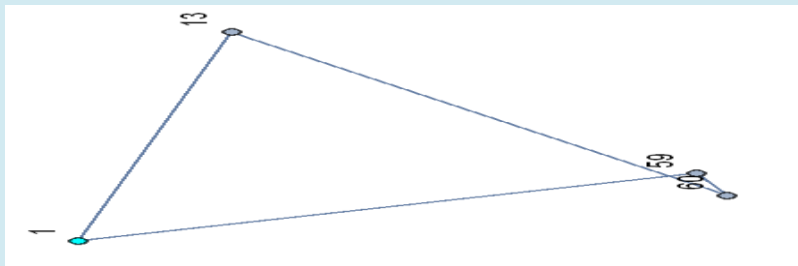


Ruta # 8: {1,22,25,12,1}	Distancia: 29.749	Costo de la ruta: 90.835
--------------------------	-------------------	--------------------------

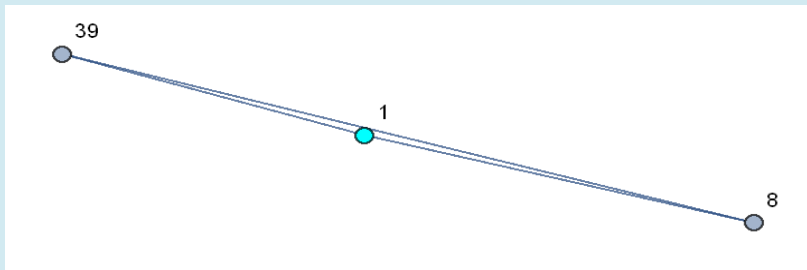




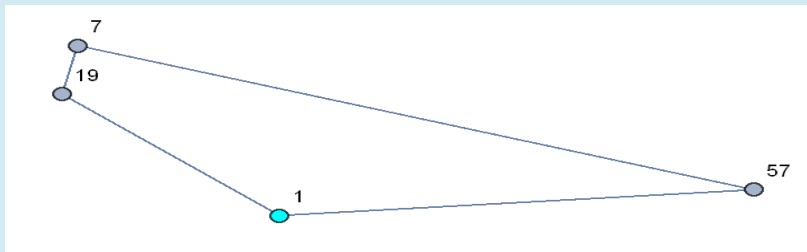
Ruta # 9: {1,59,60,13,1}	Distancia: 22.925	Costo de la ruta: 68.880
--------------------------	-------------------	--------------------------



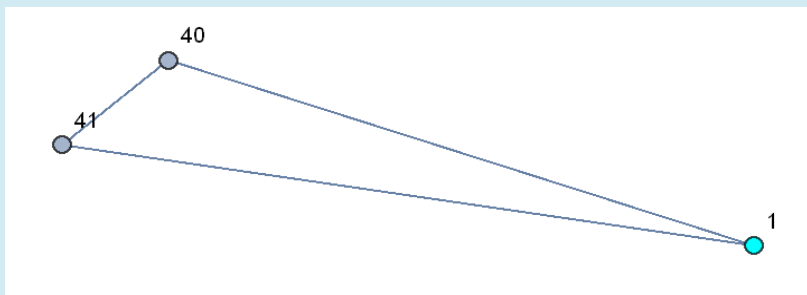
Ruta#10: {1,8,39,1}	Distancia: 24.698	Costo de la ruta: 69.128
---------------------	-------------------	--------------------------



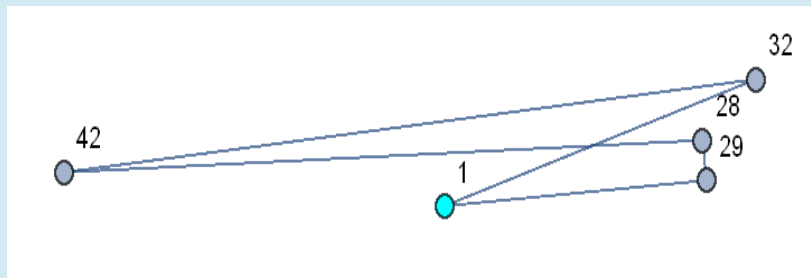
Ruta # 11: {1,57,7,19,1}	Distancia: 21.740	Costo de la ruta: 68.714
--------------------------	-------------------	--------------------------



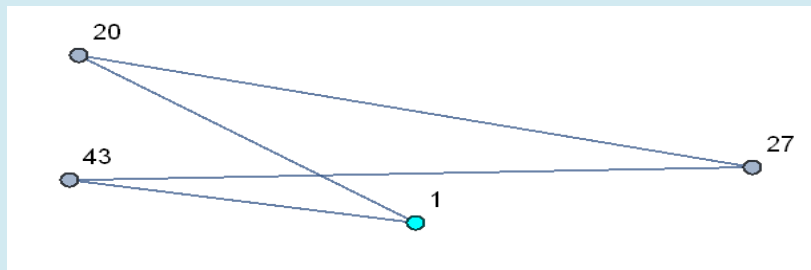
Ruta # 12: {1,41,40,1}	Distancia: 20.842	Costo de la ruta: 67.188
------------------------	-------------------	--------------------------



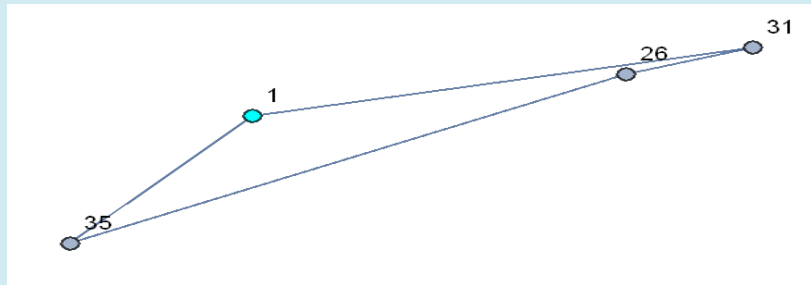
Ruta #13: {1,32,42,28,29,1}	Distancia: 23.164	Costo de la ruta: 68.913
--------------------------------	-------------------	--------------------------



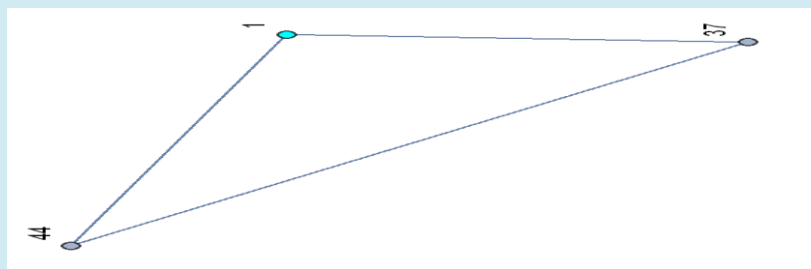
Ruta #14: {1,20,27,43,1}	Distancia: 21.249	Costo de la ruta: 68.225
--------------------------	-------------------	--------------------------



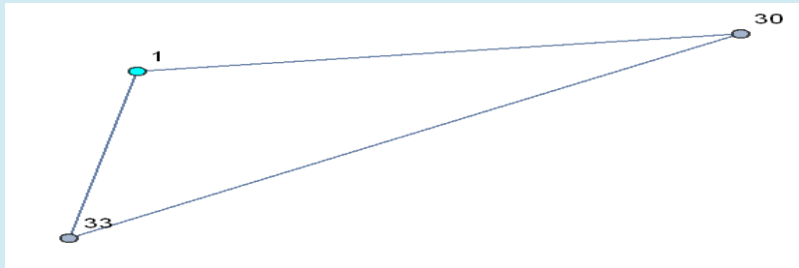
Ruta #15: {1,31,26,35,1}	Distancia: 22.906	Costo de la ruta: 67.477
--------------------------	-------------------	--------------------------



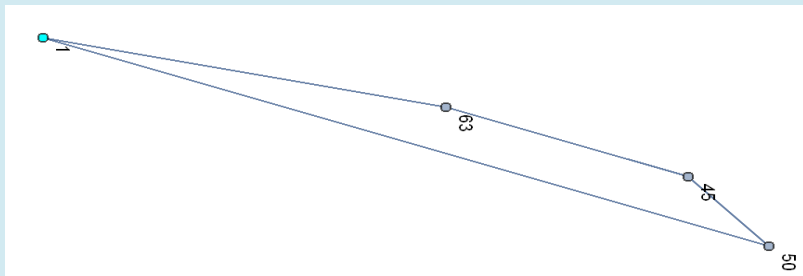
Ruta #16: {1,44,37,1}	Distancia: 22.812	Costo de la ruta: 67.464
-----------------------	-------------------	--------------------------



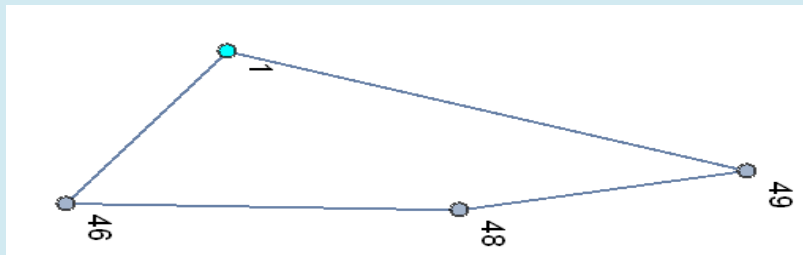
Ruta #17: {1,30,33,1}	Distancia: 21.236	Costo de la ruta: 67.243
-----------------------	-------------------	--------------------------



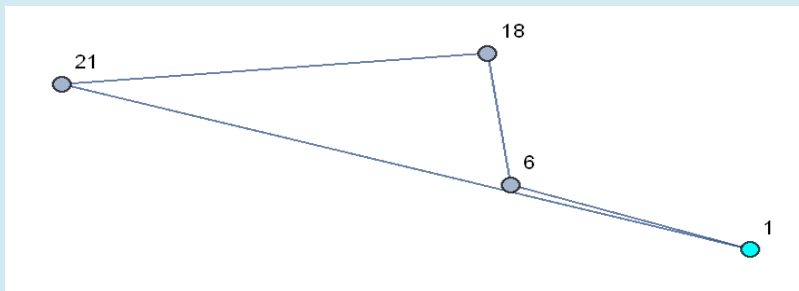
Ruta #18: {1,63,45,50,1}	Distancia: 29.669	Costo de la ruta: 99.824
--------------------------	-------------------	--------------------------



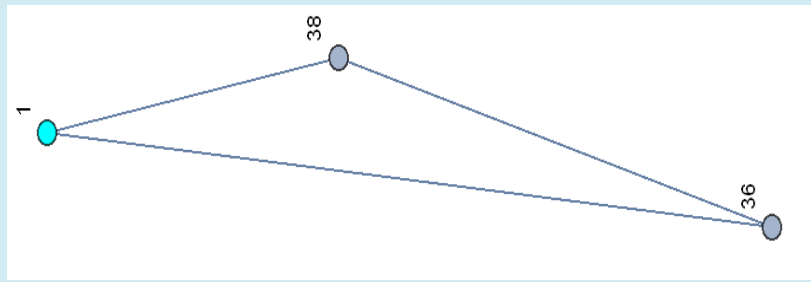
Ruta #19: {1,49,48,46,1}	Distancia: 27.142	Costo de la ruta: 96.670
--------------------------	-------------------	--------------------------



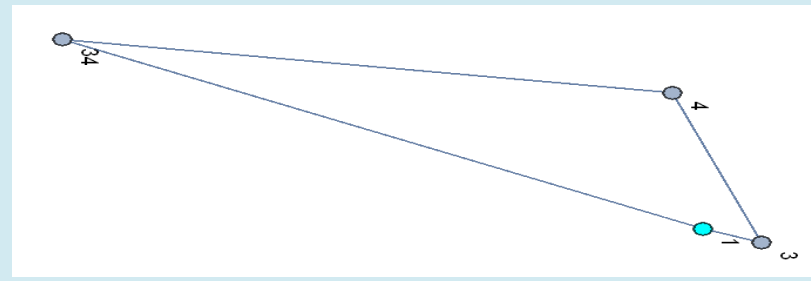
Ruta #20: {1,21,18,6,1}	Distancia: 23.267	Costo de la ruta: 66.408
-------------------------	-------------------	--------------------------



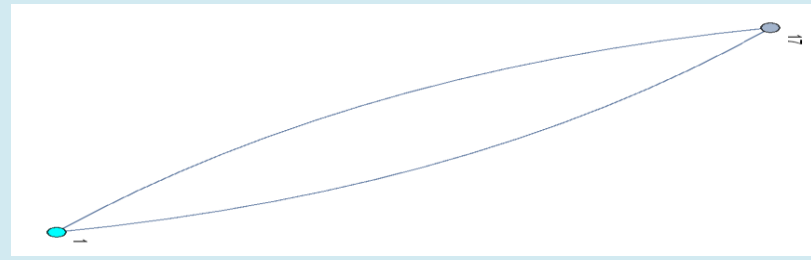
Ruta #21: {1,36,38,1}	Distancia: 25.230	Costo de la ruta: 69.402
-----------------------	-------------------	--------------------------



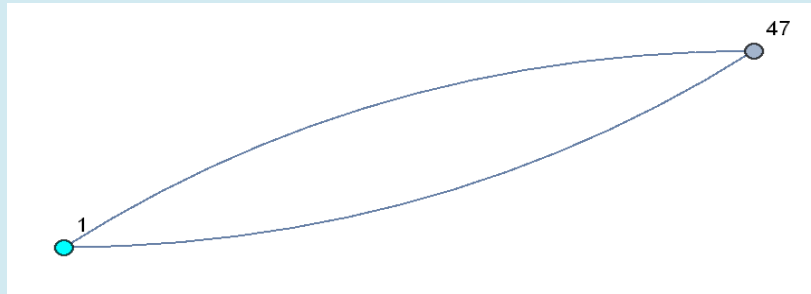
Ruta #22: {1,34,4,3,1}	Distancia: 5.214	Costo de la ruta: 66.400
------------------------	------------------	--------------------------



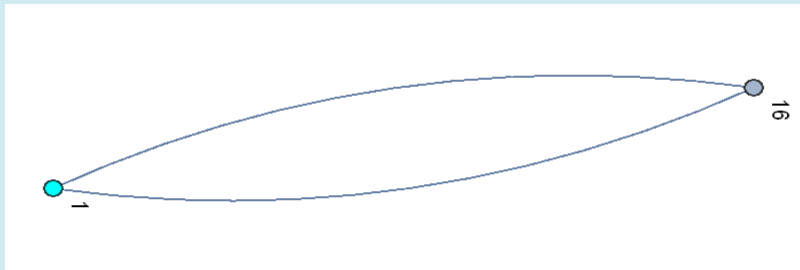
Ruta #23: {1,17,1}	Distancia: 3.086	Costo de la ruta: 66.102
--------------------	------------------	--------------------------



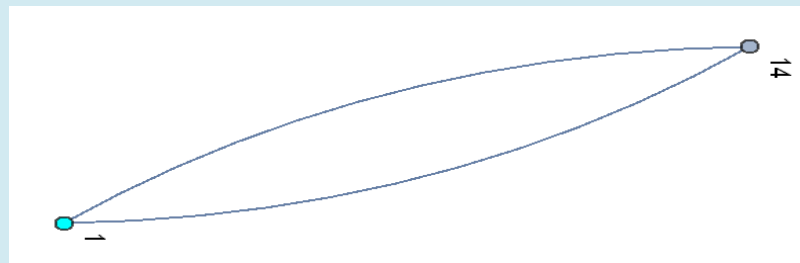
Ruta #24: {1,47,1}	Distancia: 23.019	Costo de la ruta: 66.093
--------------------	-------------------	--------------------------



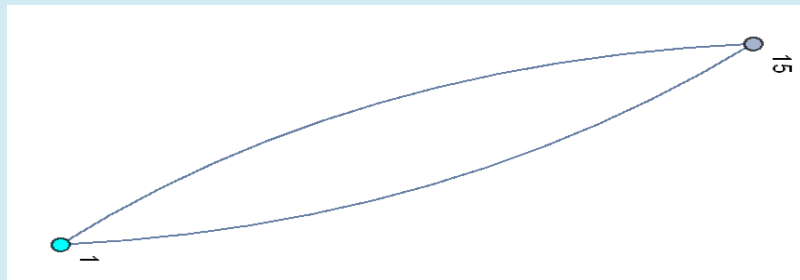
Ruta #25: {1,16,1}	Distancia: 26.671	Costo de la ruta: 66.044
--------------------	-------------------	--------------------------



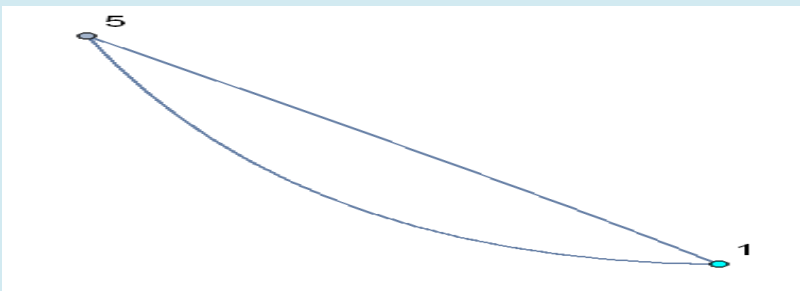
Ruta #26: {1,14,1}	Distancia: 21.663	Costo de la ruta: 66.043
--------------------	-------------------	--------------------------

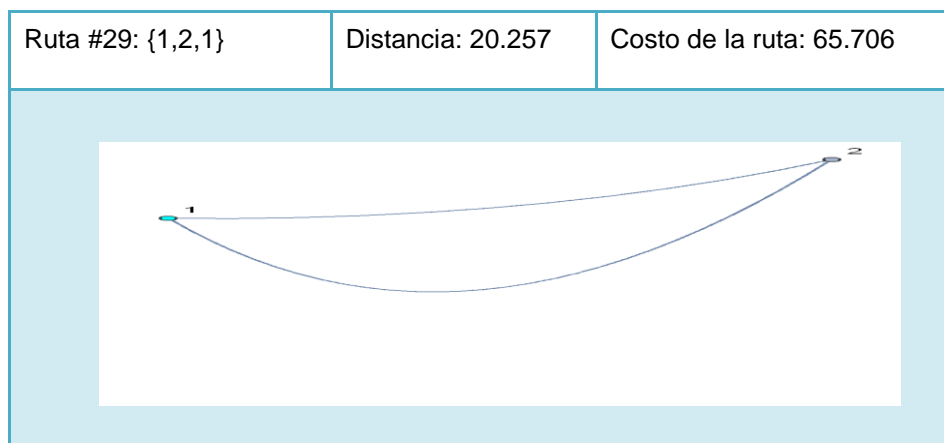


Ruta #27: {1,15,1}	Distancia: 22.111	Costo de la ruta: 65.966
--------------------	-------------------	--------------------------



Ruta #28: {1,5,1}	Distancia: 22.640	Costo de la ruta: 65.759
-------------------	-------------------	--------------------------





### 4.5.3 Resultados de la heurística para el vehículo de 12 TN

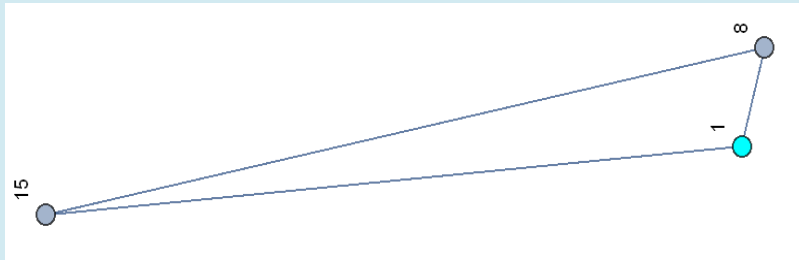
La heurística encontró 14 rutas factibles las cuales se detallan a continuación, con una distancia total recorrida de 806.222 y un costo total de 1637.774

**Tabla 4.5.3 Resultados de la Heurística para el vehículo de 12 TN**

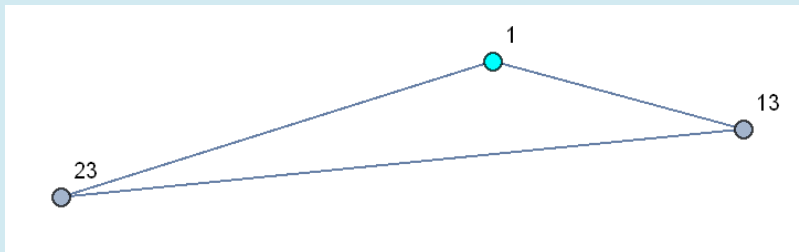
		Distancia Recorrida (Km)	Costo de la Ruta (\$)	Tiempo de Recorrido (H)
Ruta #1	{1,15,8,1}	106.331	223.261	2.35
Ruta #2	{1,23,13,1}	53.172	112.286	1.33
Ruta #3	{1,9,12,1}	58.726	108.619	1.47
Ruta #4	{1,10,11,1}	56.819	111.333	1.42
Ruta #5	{1,24,16,1}	55.292	109.604	1.38
Ruta #6	{1,19,22,1}	55.179	109.587	1.38
Ruta #7	{1,6,1}	51.806	107.581	1.30
Ruta #8	{1,7,1}	50.285	108.853	1.26
Ruta #9	{1,20,21,1}	58.155	108.533	1.45
Ruta #10	{1,17,5,1}	53.086	107.773	1.33
Ruta #11	{1,18,1}	52.836	107.735	1.32
Ruta #12	{1,14,1}	52.663	107.709	1.32
Ruta #13	{1,4,3,1}	51.615	107.552	1.29
Ruta #14	{1,2,1}	50.257	107.348	1.26
Total		806.222	1.637.774	19.86

Fuente: Autora

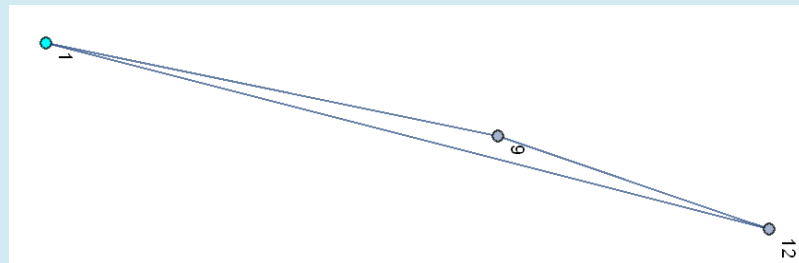
Ruta # 1: {1,15,8,1}	Distancia: 106.331	Costo de la ruta: 223.261
----------------------	--------------------	---------------------------



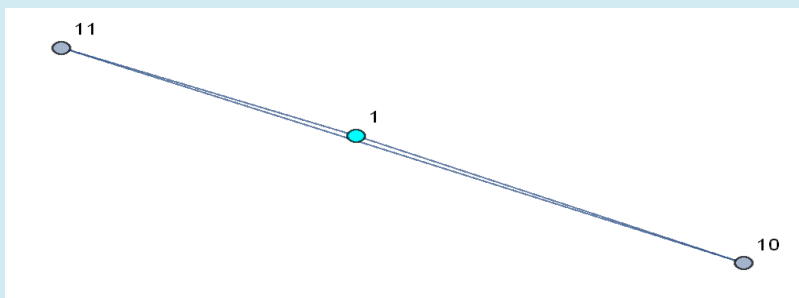
Ruta # 2: {1,23,13,1}	Distancia: 53.172	Costo de la ruta: 112.286
-----------------------	-------------------	---------------------------



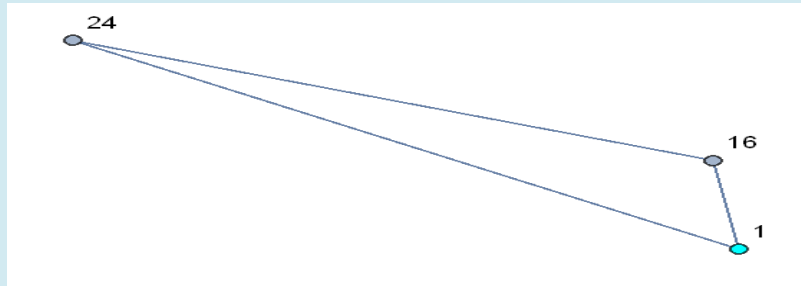
Ruta # 3: {1,9,12,1}	Distancia: 58.726	Costo de la ruta: 108.619
----------------------	-------------------	---------------------------



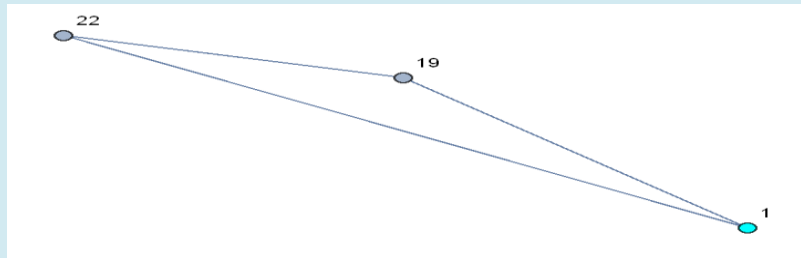
Ruta # 4: {1,10,11,1}	Distancia: 56.819	Costo de la ruta: 111.333
-----------------------	-------------------	---------------------------



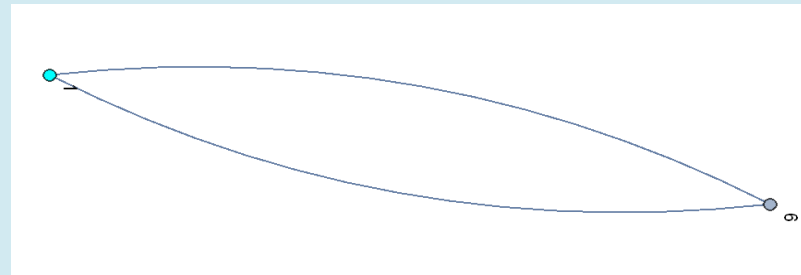
Ruta # 5: {1,24,16,1}	Distancia: 55.292	Costo de la ruta: 109.604
-----------------------	-------------------	---------------------------



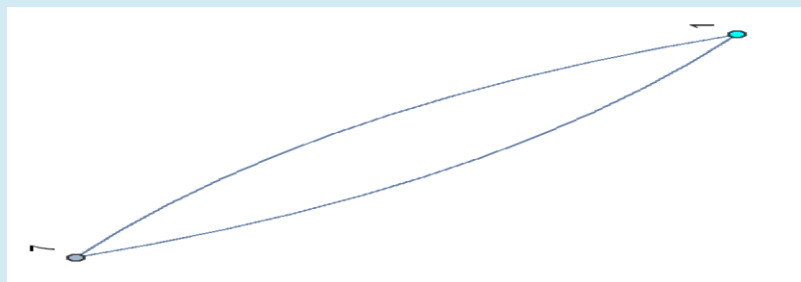
Ruta # 6: {1,19,22,1}	Distancia: 55.179	Costo de la ruta: 109.587
-----------------------	-------------------	---------------------------



Ruta # 7: {1,6,1}	Distancia: 51.806	Costo de la ruta: 107.581
-------------------	-------------------	---------------------------

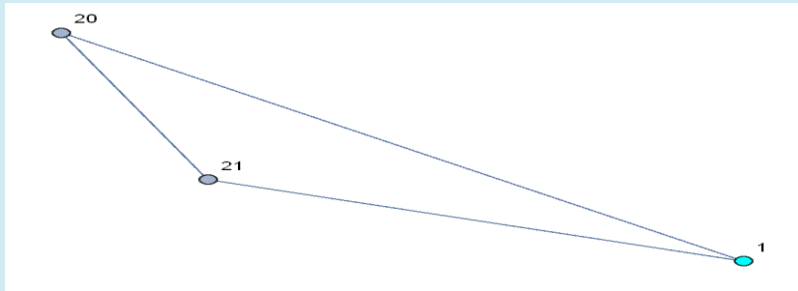


Ruta # 8: {1,7,1}	Distancia: 50.285	Costo de la ruta: 108.853
-------------------	-------------------	---------------------------

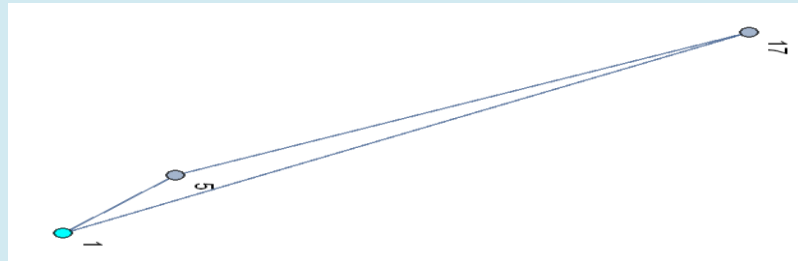




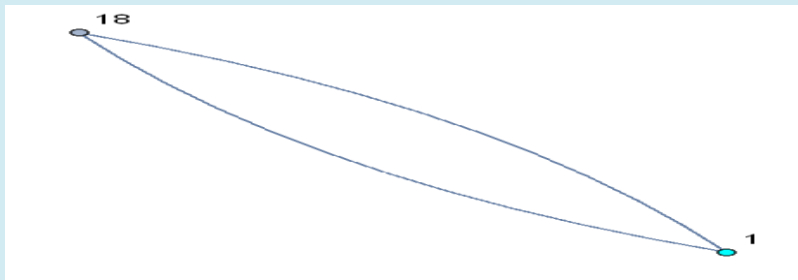
Ruta # 9: {1,20,21 ,1}	Distancia: 58.155	Costo de la ruta:108.533
------------------------	-------------------	--------------------------



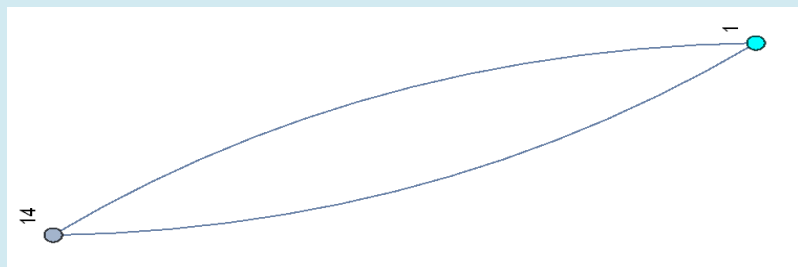
Ruta#10: {1,17,5,1}	Distancia: 53.086	Costo de la ruta: 107.773
---------------------	-------------------	---------------------------

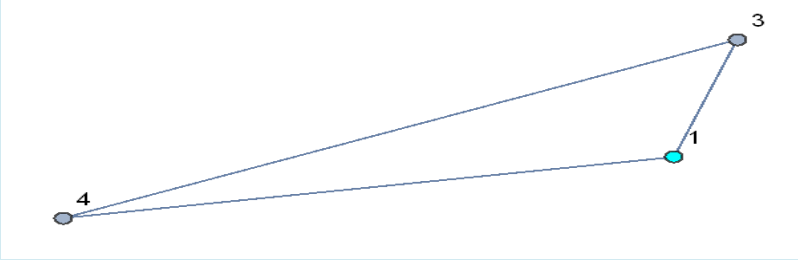
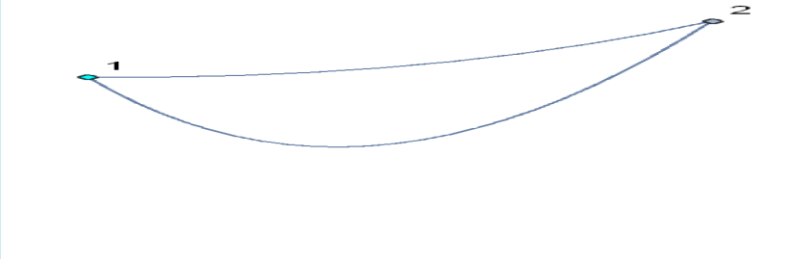


Ruta # 11: {1,18,1}	Distancia: 52.836	Costo de la ruta: 107.735
---------------------	-------------------	---------------------------



Ruta # 12: {1,14,1}	Distancia: 52.663	Costo de la ruta: 107.709
---------------------	-------------------	---------------------------



Ruta #13: {1,4,3,1}	Distancia: 51.615	Costo de la ruta: 107.552
		
Ruta #14: {1,2 ,1}	Distancia: 50.257	Costo de la ruta: 107.348
		

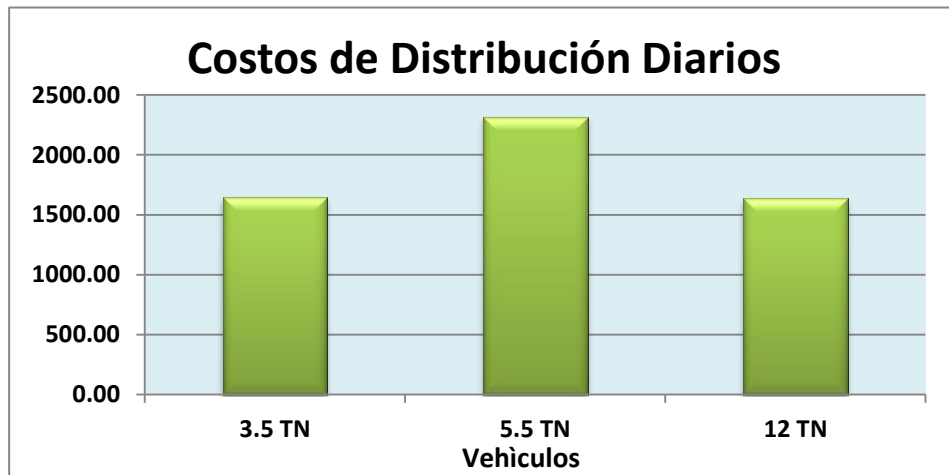
## 4.6 Comparación de los costos de distribución

En esta sección se comparará los resultados obtenidos durante la investigación, los resultados de mejora que generó la heurística y finalmente la comparación de los costos obtenidos con los costos actuales de la empresa.

### 4.6.1 Comparación de los costos diarios

Una vez obtenido los resultados con la aplicación de le heurística se utilizó un gráfico de barras para representar los costos diarios que genera cada tipo de vehículo según su capacidad.

Como podemos observar el vehículo de 5.5 TN genera mayores costos de distribución al realizar las 29 rutas descritas anteriormente.

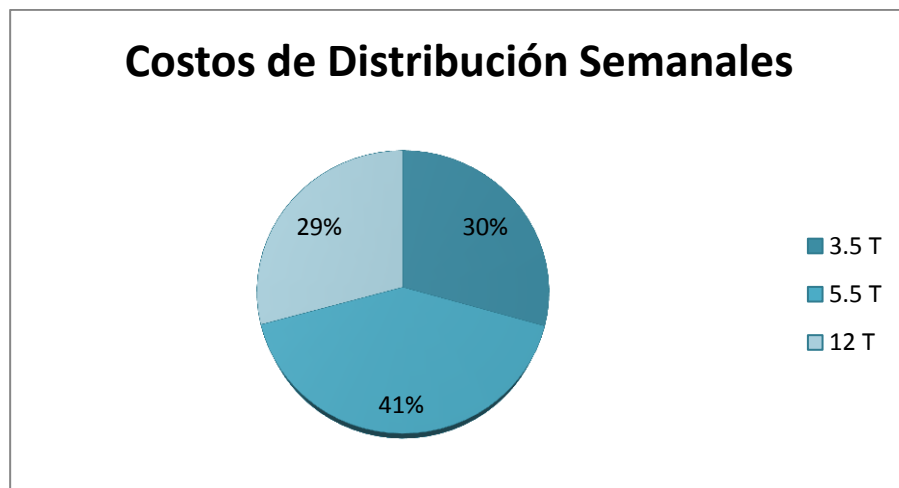


**Figura 4.6.1 Representación gráfica de los costos de distribución**

*Fuente: Autora*

#### **4.6.2 Comparación de los costos semanales**

Como podemos observar los costos semanales son significativos para el vehículo con capacidad de 5.5 toneladas ya que hay una mayor cantidad de clientes que pertenecen a las rutas, los vehículos con capacidad de 3.5 y 12 toneladas tienen similar porcentaje en los costos de distribución por ende producen gastos similares en la distribución.



**Figura 4.6.2 Representación porcentual de los costos semanales**

*Fuente: Autora*

### 4.6.3 Comparación de los resultados

Se comparará los resultados obtenidos con la aplicación de la heurística con la situación actual de la empresa respecto a los costos semanales.

**Tabla 4.6.3 Comparación de resultados**

	Clarke & Wright	Situación Actual	
Vehículos	Costos de las rutas (\$)	Costos de las rutas(\$)	Mejora (\$)
3.5 TN	9.880.98	14.113.80	4.232.82
5.5 TN	13.912.02	19.102.92	5.190.90
12 TN	9.826.68	14.208.37	4.381.69

*Fuente: Autora*

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- ❖ Este trabajo se realizó con el propósito de optimizar las rutas de reparto del CD hacia los clientes mediante el VRPTW, para ello se realizó la programación matemática adaptándolo a la problemática de la empresa.
- ❖ Con la ayuda de la herramienta tecnológica de Google Maps se pudo visualizar las rutas, además de realizar el cálculo de distancias permitiendo ver los resultados de forma gráfica.
- ❖ Una vez obtenido los resultados del problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo de la empresa que es objeto de estudio, se evidencia un ahorro en los costos de distribución de cada tipo de vehículos según la capacidad de transporte.
- ❖ Los costos de transporte de la empresa que es objeto de estudio son mayores en comparación con los resultados obtenidos utilizando la heurística por lo que con esta mejora aumentará la utilidad de la empresa.
- ❖ Con el uso de la heurística de Clarke & Wright se logró encontrar las soluciones factibles para el problema de ruteo vehicular satisfaciendo los requerimientos de los clientes.

## 5.2 Recomendaciones

- ❖ Debido al poco desarrollo de la logística en nuestro país muchas veces las empresas se manejan de forma empírica, por lo que este caso nos demuestra que se pueden obtener mejores resultados cuando se aplican las herramientas adecuadas.
- ❖ Para proyectos futuros se recomienda realizar un problema de asignación vehicular para reasignar los vehículos a cada ruta.
- ❖ Se recomienda realizar alguna meta heurística para mejorar los resultados de los costos y optimizar las rutas.
- ❖ En el modelo tarifario se recomienda tomar en cuenta impuestos u otro tipo de recargos que existan en ciertos lugares, para tener un modelo tarifario de transporte acorde a la situación.
- ❖ Se recomienda realizar un proyecto basado en indicadores de ruta.

# ANEXOS

## ANEXO 1 Coordenada de los clientes

	Coordenada X	Coordenada Y
Retail 1	-2.7494	-79.71658
Retail 2	-2.27553	-79.87095
Retail 3	-2.90571	-79.88544
Retail 4	-2.8933	-79.02014
Retail 5	-2.41822	-79.18216
Retail 6	-2.09519	-79.40022
Retail 7	-2.88903	-79.29972
Retail 8	-2.57456	-79.90234
Retail 9	-2.30146	-79.97466
Retail 10	-2.78345	-79.83156
Retail 11	-2.83918	-79.32925
Retail 12	-2.85819	-79.17164
Retail 13	-2.04822	-79.94512
Retail 14	-2.48676	-79.46471
Retail 15	-2.73874	-79.61943
Retail 16	-2.06568	-79.24574
Retail 17	-2.88783	-79.77674
Retail 18	-2.04914	-79.47709
Retail 19	-2.95972	-79.60104
Retail 20	-2.88416	-79.29554
Retail 21	-2.01672	-79.92622
Retail 22	-2.25055	-79.38007
Retail 23	-2.52121	-79.43689
Retail 24	-2.78827	-79.00137
Retail 25	-2.22244	-79.83549
Retail 26	-2.67643	-79.95616
Retail 27	-2.04482	-79.12449
Retail 28	-2.57946	-79.30565
Retail 29	-2.94617	-79.29025
Retail 30	-2.85883	-79.58325
Retail 31	-2.57517	-79.99288
Retail 32	-2.79013	-79.33602
Retail 33	-2.5228	-79.13104
Retail 34	-2.55751	-79.22279
Retail 35	-2.45337	-79.30757

Retail 36	-2.62009	-79.8041
Retail 37	-2.39625	-79.28301
Retail 38	-2.52232	-79.10793
Retail 39	-2.86361	-79.87885
Retail 40	-2.89175	-79.78576
Retail 41	-2.07626	-79.06096
Retail 42	-2.92875	-79.38758
Retail 43	-2.89624	-79.40077
Retail 44	-2.08445	-79.70378
Retail 45	-2.16945	-79.05163
Retail 46	-2.12238	-79.98874
Retail 47	-2.61025	-79.41878
Retail 48	-2.11555	-79.27229
Retail 49	-2.93941	-79.46216
Retail 50	-2.97125	-79.00468
Retail 51	-2.53753	-79.74648
Retail 52	-2.49753	-79.16321
Retail 53	-2.5411	-79.62565
Retail 54	-2.559	-79.42236
Retail 55	-2.70779	-79.07583
Retail 56	-2.17683	-79.97205
Retail 57	-2.9976	-79.06635
Retail 58	-2.43938	-79.18763
Retail 59	-2.54574	-79.28407
Retail 60	-2.68753	-79.6242
Retail 61	-2.55811	-79.74877
Retail 62	-2.87195	-79.42442
Retail 63	-2.59857	-79.70173
Retail 64	-2.84894	-79.81277
Retail 65	-2.64803	-79.23437
Retail 66	-2.53783	-79.47023
Retail 67	-2.26413	-79.44898
Retail 68	-2.82406	-79.21722
Retail 69	-2.01052	-79.23954
Retail 70	-2.89903	-79.68658
Retail 71	-2.07693	-79.55345
Retail 72	-2.01616	-79.84182
Retail 73	-2.69603	-79.51873
Retail 74	-2.05906	-79.20418
Retail 75	-2.30923	-79.77361
Retail 76	-2.98665	-79.37882
Retail 77	-2.71524	-79.95417
Retail 78	-2.67809	-79.57113
Retail 79	-2.59293	-79.13803



Retail 80	-2.83702	-79.74587
Retail 81	-2.03029	-79.82001
Retail 82	-2.74884	-79.48565
Retail 83	-2.26919	-79.45125
Retail 84	-2.1693	-79.61468
Retail 85	-2.68476	-79.89584
Retail 86	-2.07276	-79.44593
Retail 87	-2.90628	-79.72588
Retail 88	-2.46771	-79.11958
Retail 89	-2.65642	-79.3212
Retail 90	-2.16446	-79.43853
Retail 91	-2.1632	-79.54453
Retail 92	-2.19358	-79.16443
Retail 93	-2.10529	-79.77396
Retail 94	-2.29177	-79.13228
Retail 95	-2.68035	-79.89806
Retail 96	-2.42153	-79.81313
Retail 97	-2.39093	-79.55441
Retail 98	-2.9221	-79.32715
Retail 99	-2.10419	-79.21366
Retail 100	-2.25646	-79.63471
Retail 101	-2.97663	-79.85777
Retail 102	-2.14266	-79.50751
Retail 103	-2.32417	-79.59778
Retail 104	-2.95046	-79.43853
Retail 105	-2.61596	-79.26379
Retail 106	-2.41492	-79.83298
Retail 107	-2.51673	-79.55804
Retail 108	-2.74708	-79.68104
Retail 109	-2.93334	-79.39228
Retail 110	-2.60029	-79.65512
Retail 111	-2.12802	-79.94716
Retail 112	-2.88352	-79.21826
Retail 113	-2.14581	-79.33097
Retail 114	-2.96137	-79.83074
Retail 115	-2.81727	-79.73305
Retail 116	-2.44729	-79.61108
Retail 117	-2.45347	-79.03041
Retail 118	-2.76269	-79.96324
Retail 119	-2.12186	-79.5368
Retail 120	-2.04495	-79.19037
Retail 121	-2.04061	-79.77127
Retail 122	-2.70992	-79.12624
Retail 123	-2.63725	-79.61859

Retail 124	-2.58037	-79.15953
Retail 125	-2.89859	-79.27266
Retail 126	-2.41963	-79.99634
Retail 127	-2.81025	-79.44699
Retail 128	-2.92726	-79.69856
Retail 129	-2.90154	-79.4392
Retail 130	-2.44106	-79.31953
Retail 131	-2.52943	-79.77499
Retail 132	-2.52598	-79.19035
Retail 133	-2.06481	-79.89048
Retail 134	-2.90013	-79.94499
Retail 135	-2.3103	-79.85551

# BIBLIOGRAFÍA

- Alfredo, O. (2004). *Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
- Borbor Chicaiza , L. M. (2015). *Propuesta de optimización de costos para una empresa distribuidora de productos de consumo masivo*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL.
- Carrion, M. C. (2015). "Formulación y solución del problema de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo mediante el uso del algoritmo de ahorros en una empresa de servicio de telecomunicaciones". En M. C. Carrion. Quito: ESPOL.
- Díaz, A. L. (2012). *Solución del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- García Calvillo, I. D. (2010). *El problema de ruteo de vehículos*.
- Guasmayan Guasmayan, F. A. (2014). *Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genetico modificado*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Loor, L. M. (2012). "*Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el problema de enrutamiento vehicular capacitado con ventanas de tiempo*". Guayaquil, Ecuador: ESPOL.
- Mora García, L. A. (s.f.). *La aplicación de las mejores prácticas logísticas en el almacenamiento de clase mundial*.
- Sánchez, F. S. (Octubre de 2007). *Slide Share*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2016, de <http://es.slideshare.net/mauro1204/sandoya-fernando-mtodos-exactos-y-heuristics-para-el-vrp-jornadas>
- Sarmiento Lepesqueur, A. (2014). *Estudio del problema de ruteo de vehículos con balance de carga: Aplicación de la meta-heurística Búsqueda Tabú*. Chia, Colombia: Universidad de la Sabana.