



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Instituto de Ciencias Matemáticas

"Optimización de costos de distribución mediante el diseño de rutas de entrega aplicando el algoritmo del VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) en una empresa distribuidora de productos de consumo masivo ubicada en la ciudad de Quevedo"

INFORME DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

(Dentro de una materia de la malla)

Previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

John Enrique Alcocer Marquino

Ronald René Campoverde Larreta

Guayaquil – Ecuador

2012

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación y a todos aquellos profesores que supieron transmitirme sus conocimientos para forjarme como un profesional. Como también mis sinceros agradecimientos están dirigidos hacia mi director de tesis M.Sc. Guillermo Baquerizo.

John Enrique Alcocer Marquino

Este trabajo es producto del esfuerzo de quienes conformamos este grupo. Por lo que agradezco a mi director M.Sc. Guillermo Baquerizo, por el apoyo brindado a lo largo de este proyecto y a mis demás profesores por haberme transmitido su conocimiento a lo largo de la carrera.

Ronald René Campoverde Larreta

DEDICATORIA

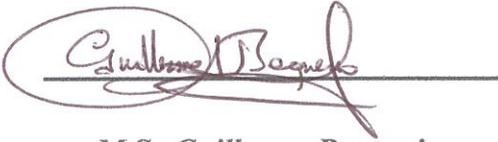
La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, esposa e hijas, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. A mi padre, por su tenacidad y lucha insaciable que ha hecho de él un gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mi familia en general. A mi esposa e hijas por sacrificar parte de su tiempo para apoyarme en todo momento en que duró mi carrera universitaria.

John Enrique Alcocer Marquino

Dedico este trabajo primeramente a Dios por darme el conocimiento y fortaleza para salir adelante en mi carrera y a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, dándome la oportunidad de estudiar y ser lo que soy ahora. Ya que su espíritu de lucha, me ha inspirado para conseguir mis metas y seguir adelante frente a las adversidades.

Ronald René Campoverde Larreta

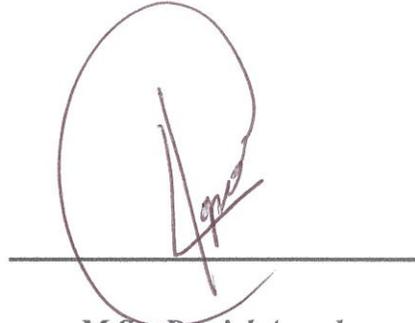
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in dark ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Guillermo Baquerizo'.

M.Sc Guillermo Baquerizo

Director del Proyecto de Graduación

(Dentro de una materia de la malla)

A handwritten signature in dark ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Daniel Agreda'.

M.Sc. Daniel Agreda

Delegado del ICM

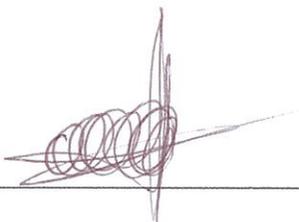
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe del Proyecto de Graduación (Dentro de una materia de la malla), nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

Reglamento de Graduación de la ESPOL.



John Alcocer Marquino



Ronald Campoverde Larreta

RESUMEN

El propósito de este proyecto consiste en definir un plan de rutas para optimizar la distancia recorrida por los vehículos, los cuales realizan el reparto de productos de consumo masivo de un supermercado mayorista ubicado en la ciudad de Quevedo, con la finalidad de reducir los costos de todo el proceso de despacho y distribución. Para cumplir este objetivo, se utilizarán técnicas de ruteo inteligente para optimizar la distancia total recorrida, además con la ayuda de la metaheurística del "Recocido Simulado", se buscará mejorar la solución inicial.

ABSTRACT

The purpose of this project is to define a routing plan to optimize the distance traveled by the vehicles, which made the distribution of consumer products to a wholesaler supermarket located in the city of Quevedo, in order to reduce costs of release and distribution. To reach this objective, intelligent routing techniques will be used to optimize the total distance traveled, and with the help of the metaheuristic of "Simulated Annealing", will seek to improve the initial solution.

GLOSARIO

- **Algoritmos exactos:** Un algoritmo, que para hallar la solución a un problema, requiere búsquedas exhaustivas dentro del conjunto de posibles soluciones, recibe el nombre de algoritmo exacto [7].
- **Algoritmos heurísticos:** Un algoritmo heurístico es un algoritmo que se basa en un conocimiento experto o información externa para extraer conclusiones sobre el problema que le ocupa. Por lo general no garantizan soluciones óptimas pero permiten aproximarlas de manera eficiente [2].
- **Dutro:** Camión de 2.5 Toneladas de marca HINO.
- **Metaheurística:** Procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada de búsqueda, combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda [4].
- **Pallet:** Es un almacén de madera, plástico u otros materiales empleado para un movimiento de carga particular [11].

- **Recocido Simulado (Simulated Annealing):** Es un algoritmo de búsqueda meta-heurística para problemas de optimización global; el objetivo general de este tipo de algoritmos es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande. A este valor óptimo se lo denomina "óptimo global" [10].

ABREVIATURAS

- **FRZN:** Frozen. (Congelado)
- **RASE:** Recibo-Almacenaje-Surtido-Embarques.
- **SKU's:** Stock Keeping Unit. (Unidad de Guardado de inventario)
- **TSP:** Traveling Salesman Problem. (Problema del Agente Viajero)
- **VRPTW:** Vehicle Routing Problem with Time Windows. (Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo).

INTRODUCCION

En la ciudad de Quevedo existe una empresa distribuidora de productos de consumo masivo, en la que se va a enfocar la resolución de este problema, en el capítulo 1 se tratará acerca de los antecedentes de la misma, la justificación del problema, se planteará la hipótesis y los objetivos, para así sentar las bases en que se sustenta este trabajo final de graduación.

En el capítulo 2, se expondrá toda la teoría necesaria para la resolución del caso de aplicación que se planteará en el siguiente capítulo. Este marco teórico está centrado en lo que son los procesos RASE y los métodos de ruteo, para luego describir un modelo matemático sobre el VRPTW. También se hablará de la metaheurística del Recocido Simulado y un algoritmo para su resolución. Para finalizar este capítulo se ha escogido dos casos de estudio que tienen semejanza a nuestro proyecto, ya que así se puede observar que existe un interés sobre lo que son las técnicas de ruteo y la resolución del VRPTW.

En el capítulo 3, se planteará el caso de aplicación, el cual se lo va a dividir en dos etapas: la primera se refiere a los procesos RASE y la segunda a la red de distribución; se comenzará por la obtención de todos los costos involucrados, para luego diseñar un plan de rutas, con la finalidad de mejorarla con el algoritmo del Recocido Simulado, obteniendo así una mejor

distribución para el reparto de la mercadería minimizando la distancia recorrida por los vehículos y los costos relacionados con estos procesos.

En el capítulo 4, se procederá a analizar los resultados obtenidos, verificando una mejora respecto a la situación actual, obteniendo una disminución en la distancia recorrida que es directamente proporcional a una reducción en los costos en que se incurren, por lo que este proyecto alcanza los objetivos planteados, haciendo factible su aplicación en la empresa.

Por último, como en todo trabajo, se tienen las conclusiones y recomendaciones, en donde se puede observar la relación con la hipótesis y los objetivos planteados, además se da recomendaciones para posibles mejoras del proceso y la posibilidad de implantación no solo en la propia empresa sino en empresas con estructura similar.

CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	I
GLOSARIO	II
ABREVIATURAS	IV
CONTENIDO	VII
Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación del Problema	2
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
Marco Teórico	6
2.1. Procesos RASE	6
2.2. Métodos de Surtido y Embarque	6
2.3. Métodos de Ruteo	10
2.3.1. Ruta Fija	10
2.3.2. Rotativo por Zonas	10
2.4. Redes de Distribución	11
2.5. Reglas de determinación de radios de operación en la Red Logística	12
2.6. VRPTW	14
2.6.1. Formulación del Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW)	15
2.7. Recocido Simulado	19
2.7.1. El método del Recocido Simulado	19
2.7.2. Datos iniciales y parámetros a ser definidos para poder inicializar el algoritmo:	22
2.7.3. El Algoritmo [3]	24
2.8. Casos de Estudio	25

2.8.1. “Un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple m-VRP resuelto con la heurística de Fisher & Jaikumar”.....	25
2.8.2. “Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW”.....	26
Caso de Aplicación.....	28
3.1. Introducción.....	28
3.2. Flujo de Procesos.....	29
3.3. Etapa 1.....	29
3.4. Etapa 2.....	33
Análisis de Resultados.....	42
Conclusiones y Recomendaciones.....	48
5.1. CONCLUSIONES.....	48
5.2. RECOMENDACIONES.....	50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
7. ANEXOS.....	53
7.1. Anexo A - Información sobre los clientes.....	53
7.2. Anexo B – Tiempo de entrega a cada cliente.....	57
7.3. Anexo C – Coordenadas de ubicación de los clientes.....	58
7.4. Anexo D – Fotografía del vehículo del Centro de Distribución.....	61
7.5. Anexo E – Importación de datos de Excel a Mathematica.....	62

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

En la ciudad de Quevedo existe una empresa distribuidora de productos de consumo masivo, en la que se va a enfocar la resolución de este problema, de aquí en adelante nos referiremos a ésta como el Centro de Distribución, la cual inició su operación en el año 2006. El enfoque principal de este trabajo final de graduación será el área de almacenamiento y la de distribución.

Actualmente se cuenta con cerca de 191 clientes en la ciudad de Quevedo donde el 90% son clientes minoristas y el 10% son mayoristas, los días de entrega son los sábados y los lunes. Para la entrega de mercaderías, el Centro de Distribución cuenta con tres vehículos propios: dos furgones de 2.5 toneladas y una tricimoto. Además la compañía hace uso de tres vehículos alquilados que son de mayor capacidad que los propios, y su tarifa varía dependiendo del destino de entrega. La hora de inicio del reparto es a partir de las 07h00.

Adicional a la entrega de mercadería en la ciudad de Quevedo, se atiende a más de 8 ciudades diferentes y la entrega se realiza durante toda la semana, al momento de realizar el reparto en la ciudad se envía la mercadería en un vehículo alquilado al que se le paga \$50 por hacer dicha

cobertura por viaje. El Centro de Distribución establece que para poder enviar un vehículo propio el vendedor debe realizar una venta superior a \$1200, y para poder hacer uso de un vehículo alquilado debe existir una venta mínima de \$2300.

El área de distribución cuenta con 6 personas que conocen las distintas rutas de entrega y 2 choferes asignados a cada uno de los dutros, en caso de necesitar alguna persona adicional para el reparto se la puede escoger del área de bodega. Cada trabajador debe laborar como mínimo 8 horas diarias y 5 días a la semana, si se pasa de este límite se le pagarán horas extras.

1.2. Justificación del Problema

El problema consiste en diseñar un método de ruteo para la entrega de productos de consumo masivo a cada cliente situado en la ciudad de Quevedo en un determinado tiempo, analizando y mejorando la gestión de las operaciones con la ayuda de nuevos procesos logísticos que le permitan optimizar el costo de distribución, además de la implantación de parámetros e indicadores de operación vinculados a estos aspectos de forma que se facilite el control de la gestión y se procuren medidas de mejora continua.

Para diseñar la ruta óptima se aplicará el algoritmo del VRPTW en donde su data principal será la ubicación de cada cliente (referenciada en latitud y longitud), el tiempo en que cada cliente puede recibir su pedido y el costo asociado a cada punto de entrega.

Para poder optimizar los costos de distribución y mejorar la ruta de entrega se analizará la ubicación de cada cliente y se dividirá a la ciudad de Quevedo en 3 zonas específicas, y cuáles son los días más factibles para el reparto tomando en cuenta aquellos días de entrega de las demás ciudades donde también se utilizan los vehículos propios.

Además se analizarán todos los procesos implicados en la distribución, como el despacho de la mercadería, verificación-empaque, y el embarque a los camiones asignados para la entrega, tomando en consideración el tiempo que se demora en ejecutar cada uno de los procesos inmersos en los procesos antes mencionados.

Este Centro de Distribución nos ha dado las facilidades para la obtención de datos, como lo es la ubicación de los clientes, que se van a utilizar en este proyecto, debido a que como beneficiario directo, los resultados del mismo le van a ser muy favorables al aplicarlos, puesto que la reducción de costos es muy importante para toda empresa.

1.3. Hipótesis

Mediante la implantación de un sistema de ruteo inteligente y la optimización de los procesos de distribución se minimizarán costos y la distancia recorrida en la entrega de mercaderías desde un Centro de Distribución a los clientes ubicados en la ciudad de Quevedo.

1.4. Objetivos

El objetivo general del proyecto es:

- Diseñar rutas de entrega para la optimización de costos de distribución por kilómetro recorrido que permitan un mejor nivel de desempeño en la entrega de mercadería ahorrando tiempo y recursos.

Además se tienen objetivos específicos:

- Analizar y mejorar los procesos inmersos en la distribución para minimizar el tiempo y el costo de las operaciones de entrega.
- Analizar y diseñar un ruteo rotativo por zona tomando en consideración el tiempo de entrega a cada cliente en la ciudad de Quevedo.

- Construir un modelo matemático para el ruteo por zona que nos permita optimizar la distancia recorrida y el tiempo de entrega a cliente.
- Analizar los costos involucrados en todo el proceso de distribución para que los directivos o jefes de área tomen la decisión de alquilar o enviar la mercadería en los vehículos propios.
- Decidir qué días son factibles para el reparto de la mercadería demandada por todos los clientes de la ciudad de Quevedo.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Procesos RASE

Conjunto de procesos que se realizan en una bodega, estos son: Recibo, Almacenaje, Surtido y Embarque. Para poder minimizar los costos de distribución se analizarán cada parte de estos procesos, y como se puede mejorar cada uno. Este proyecto se enfocará directamente en el área de surtido y embarques [7].

2.2. Métodos de Surtido y Embarque

Para mejorar estos procesos se analizarán los siguientes métodos que se podrían aplicar en el Centro de Distribución de tal manera se minimicen los tiempos [7]:

- **Orden por orden desde almacenaje:**
 - Surtido de un pedido a la vez hasta completarlo.
 - Método apropiado para almacenes pequeños.
 - Trabajo en ambientes estáticos.
 - Recorridos y tiempos de surtido son los más grandes.

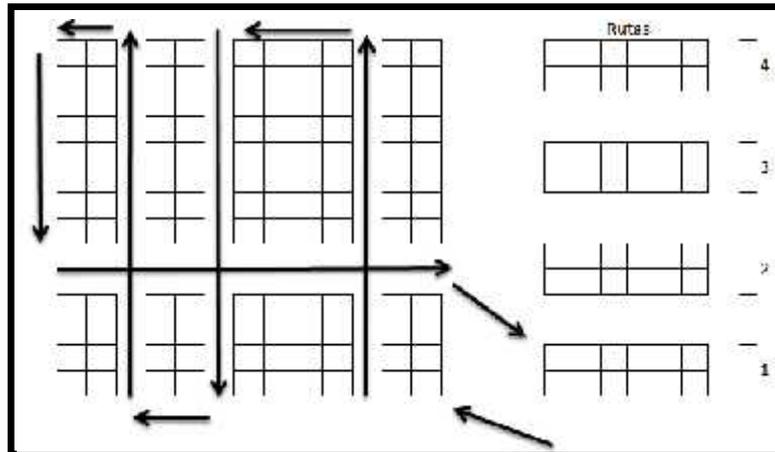


Gráfico 2.1 – Orden por orden desde almacenaje.

➤ **Línea de surtido al frente:**

- Inventario se divide en línea de surtido y reversa.
- Órdenes pequeñas se surten de la línea y las grandes desde la reserva.
- Recorridos y tiempos de surtido se reducen notablemente.
- Aumento de la operación de reabastecimiento de línea de surtido.

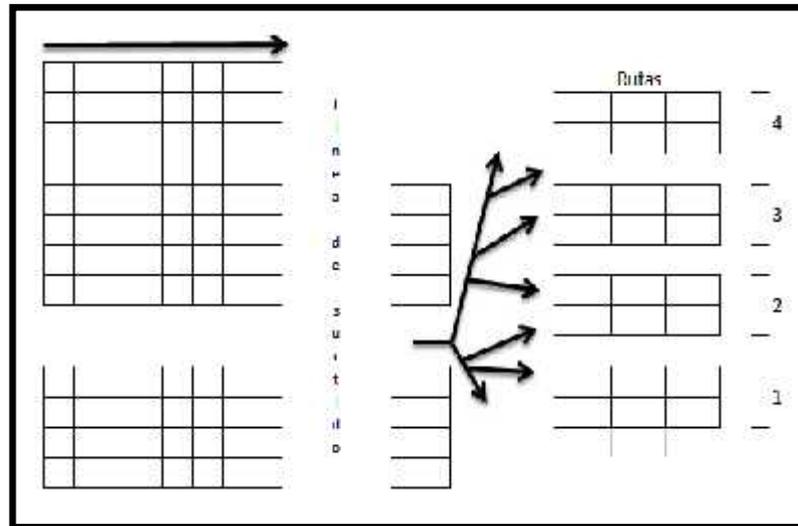


Gráfico 2.2 – Línea de surtido al frente

➤ **Surtido por zona y ensamble de órdenes:**

- Selectores asignados por zona.
- Operación con ubicaciones sencillas o múltiples.
- División del pedido por zona y surtido simultáneamente.
- Verificadores de órdenes al final.

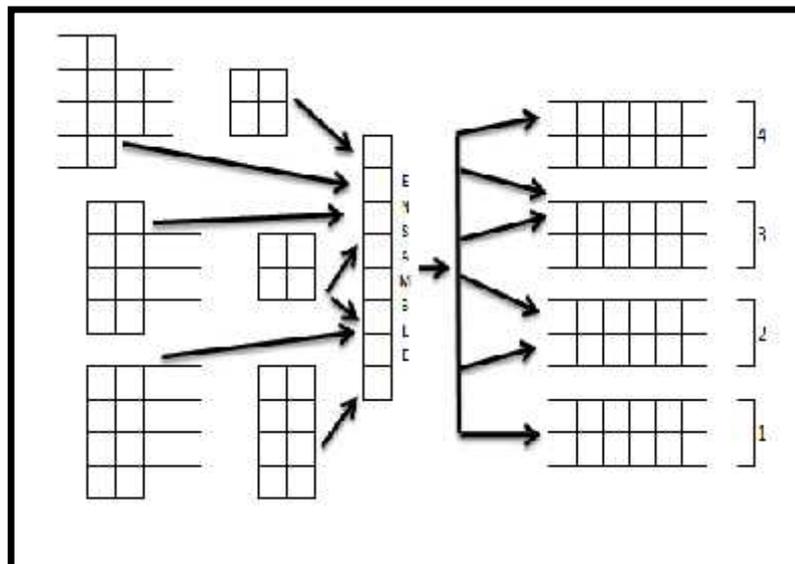


Gráfico 2.3 – Surtido por zona y ensamble de órdenes

➤ **Surtido secuencial por zona:**

- Arreglo por zonas de almacenaje, pero las órdenes pasan de zona a zona.
- No se requiere zona de consolidación.
- Transportación de zona a zona.

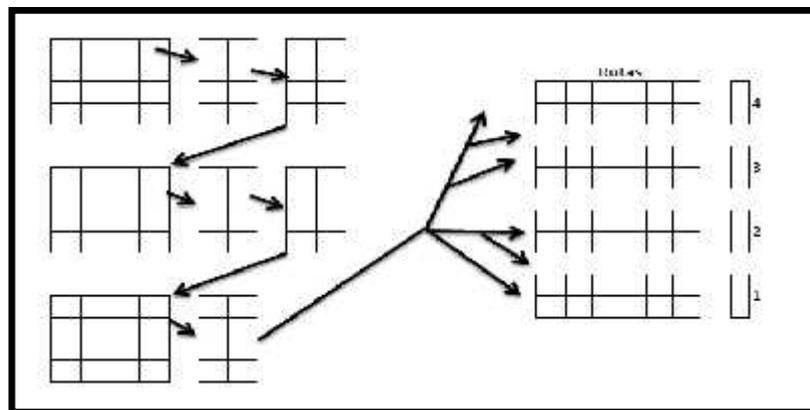


Gráfico 2. 4 – Surtido secuencial por zona

➤ **Surtido global o concentrado:**

- La suma de un determinado número de pedidos o concentrado de pedidos se surte por zona y se llevan al frente.
- Aumento de la productividad de surtido del grupo.
- Método apropiado para bajos volúmenes de surtido.

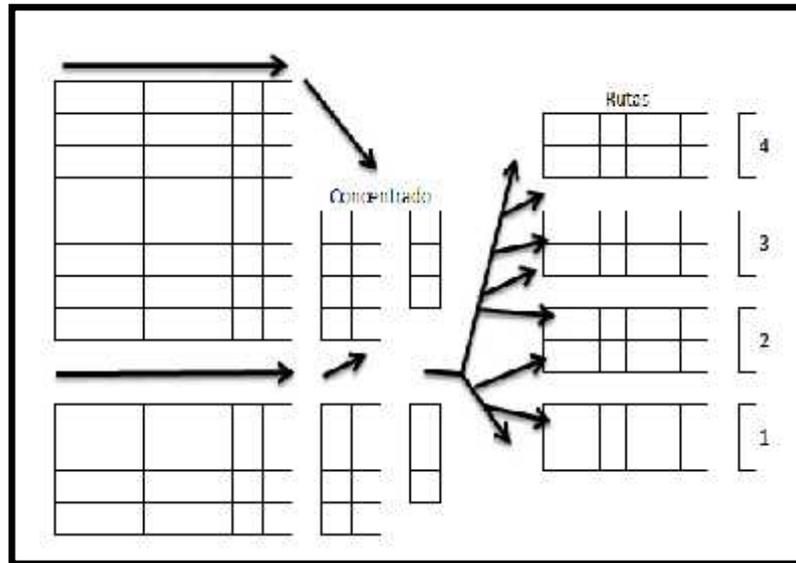


Gráfico 2.5 – Surtido por global o concentrado

2.3. Métodos de Ruteo

2.3.1. Ruta Fija

Este método de ruteo es el más sencillo y antiguo de todos los métodos, consiste en la acumulación de facturas por ruta hasta completar una carga de camión que justifique el embarque [6].

2.3.2. Rotativo por Zonas

En este método se genera un programa de embarque por ruta de modo que solamente las rutas programadas se facturan, requiere de coordinación con el área comercial [6].

Una de las aplicaciones más importantes para el desarrollo de este proyecto, es la de aplicar un ruteo rotativo por zona, donde el objetivo es lograr coordinar el proceso de entrada de pedidos por zonas de ventas, alineadas con el proceso de ruteo por centro de distribución. Ya que esto aumentará el volumen por ruta en un intervalo de tiempo definido, reduciendo los tiempos de espera y elevando el nivel de utilización de la capacidad de carga por ruta. Así se reducirán costos y tiempos de entrega.

2.4. Redes de Distribución

Para poder resolver el problema de atención al cliente con disponibilidad de producto, la logística creó lo que podemos llamar redes de distribución. Las redes de distribución tienen como función primordial el abastecimiento o flujo de materiales entre todos los productores, distribuidores y clientes en la cadena de abastecimiento y cada uno de estos se los denomina como Nodo Logístico en la Red de Distribución [6].

A continuación se muestran los tipos de redes de distribución:

- Red con Almacén Central.
- Red con Almacenes de Planta.
- Red con Centros de Reexpedición.
- Red con piso de venta.
- Red con entregas directas a Distribuidor Mayorista.
- Red Mixta.

La Red con Almacén Central es la que se tomará como base para elaborar el ruteo rotativo por zonas, debido a que el Centro de Distribución tiene que atender a más de 90 clientes al día en un tiempo determinado conformándose así la Red de Distribución Quevedo.

2.5. Reglas de determinación de radios de operación en la Red Logística

El punto que determina la posición del Centro de Distribución es aquel que cumple con la siguiente condición:

Sea la distancia del Centro de Distribución (CD) a un punto de entrega.

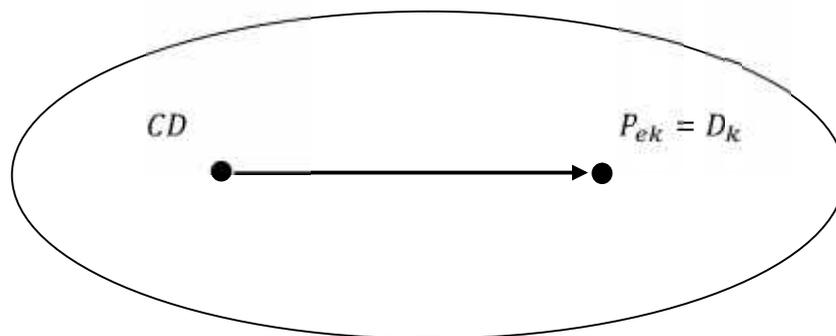


Gráfico 2.6 – Distancia del CD al punto de entrega.

Y T_{ek} el tiempo requerido para llegar a P_{ek} a una velocidad V_k .

De modo que el tiempo total requerido para realizar un servicio de entrega durante un período P es:

$$T_s = \sum_{\forall k} \frac{D_k}{V_k}$$

Cuando tenemos puntos D_k recurrentes la expresión puede escribirse como:

$$T_s = \sum_{\forall k} V(ND_k)$$

En donde la mayor frecuencia de entregas determina la posición del Centro de Distribución, esto es de modo gráfico, la función de densidad de entregas:

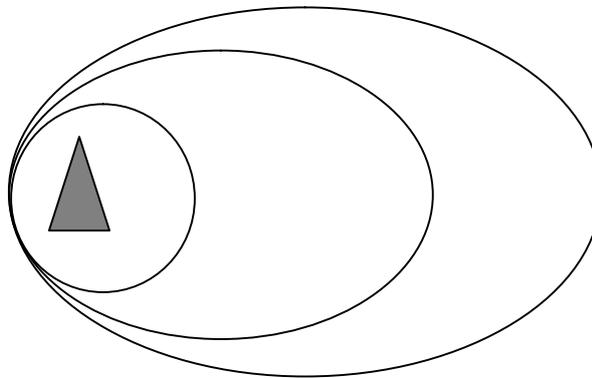


Gráfico 2.7 – Función densidad de entregas

Mediante estas reglas de determinación de radios de operación se podrá fácilmente observar que el Centro de Distribución está ubicado en un punto de la red de distribución en donde puede cubrir las necesidades de

cada cliente, cuyo objetivo principal es determinar un orden de visita hacia cada punto de entrega dentro de un límite de tiempo.

Aplicando adecuadamente un método de ruteo inteligente en una red de distribución completamente balanceada se podrá obtener un mínimo costo de distribución o a su vez se reducirá la distancia total recorrida [6].

2.6. VRPTW

Es el diseño óptimo de un número de rutas de transporte que visiten un conjunto de ciudades o clientes geográficamente dispersos, en unos momentos determinados del horizonte de planificación [1].

VRPTW es un problema NP-Hard, puesto que VRP lo es (Savelsberg, 1985), y los modelos de solución habituales se pueden dividir en dos [1]:

- Algoritmos exactos o de aproximación basados en heurísticas
- Meta-heurísticas

2.6.1. Formulación del Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW)

Se va a utilizar para este proyecto una formulación del problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo, VRPTW, que nos sirve para la creación de rutas de entrega en un intervalo de tiempo determinado. El modelo matemático que se presenta a continuación con su respectivo análisis de restricciones ha sido tomado del trabajo del Ph.D. Marco Cruz, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en donde se detallan las restricciones necesarias para que se pueda cumplir el objetivo:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in N, i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \Delta^-(n+1)} X_{ijn+1,k} = 1 \quad \forall k \in N \quad (5)$$

$$W_{ik} + S_i + t_{ij} - W_{jk} \leq (1 - X_{ijk}) M_{ij} \quad \forall k \in K, (i,j) \in N \quad (6)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} \leq W_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in N \quad (7)$$

$$E \leq W_{ik} \leq L \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ik} \leq C \quad \forall k \in N \quad (9)$$

$$X_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (10)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (11)$$

La función objetivo presentada en (1), representa el costo total, el cual se puede interpretar como el tiempo de viaje o distancia recorrida total. Se requiere encontrar la mínima distancia de recorrido total utilizando el menor número de vehículos. La variable X_{ijk} , toma valor de uno cuando el vehículo k atiende la ruta que va del cliente i al cliente j . El depósito se representa como $i = 0$ ó $i = 1 + n$.

Las restricciones que se deben cumplir se presentan de (2) a (11):

- Restricciones en (2), restringen la asignación de cada cliente i o j a una sola ruta vehicular k , esto es, el cliente i o j es atendido por un sólo vehículo k .
- Restricciones de (3) a (5), dan las características de ruta a seguir por cada vehículo k .

- Restricciones en (3), definen el número de clientes j que son directamente alcanzables desde el depósito 0 utilizando el vehículo k , esto es, para cada vehículo k , sólo un cliente j se puede alcanzar partiendo del depósito.
 - Restricciones en (4), indican para cada unidad vehicular que, la diferencia del número de clientes i desde los cuales el cliente j es directamente alcanzable, con respecto del número de clientes i que son directamente alcanzables desde el cliente j , es cero, esto es, el número de vehículos que llegan a un cliente es el mismo número de vehículos que sale.
 - Restricciones en (5), indican para cada unidad vehicular que, el número de clientes i desde los cuales el depósito $n+1$ es directamente alcanzable, es sólo uno, esto es, cada ruta vehicular tiene un sólo cliente que conecta al depósito.
- Restricciones (6) a (9), garantizan la factibilidad de la secuencia con respecto a condiciones de tiempo y aspectos de capacidad respectivamente.

- Restricciones en (6), indican para cada unidad vehicular y cada arco entre par de clientes, que la suma del tiempo inicial del servicio W_{ik} para el cliente i más su tiempo de servicio dado al cliente i más su tiempo de recorrido desde el cliente i al cliente j , menos el tiempo inicial del servicio W_{ik} es menor o igual que $(1 - X_{ijk}) * M_{ij}$, esto es, no se puede iniciar un servicio en j si el cliente i no ha sido atendido y el vehículo no ha llegado al cliente j . Aquí M es una constante muy grande.
- Restricciones en (7), indican para cada unidad vehicular y cada cliente i , que el tiempo inicial del servicio W_{ik} debe iniciar dentro de la ventana de tiempo $[a_i, b_i]$, donde a_i es el tiempo más temprano posible que puede iniciar el servicio en el cliente i y b_i es el tiempo más tarde posible que puede iniciar el servicio en el cliente i .
- Restricciones en (8), indican para cada unidad vehicular y en el depósito 0 , que el tiempo inicial del servicio W_{ik} debe iniciar dentro de la ventana de tiempo $[E, L]$, esto es, el vehículo k , debe tener una salida posible más temprana desde el depósito y una llegada posible más tarde al depósito.

- Restricciones en (9), indican que para todo vehículo k , la suma de las demandas de todos los clientes atendidos no debe exceder la capacidad del vehículo.
- Restricciones (10), son restricciones de no negatividad de las variables X .
- Restricciones (11), son restricciones que definen al modelo lineal como un modelo lineal entero binario.

2.7. Recocido Simulado

El Recocido Simulado es el algoritmo que se usará para resolver el problema, se basa en los conceptos descritos originalmente por la mecánica estadística que describe el proceso físico sufrido por un sólido al ser sometido a un baño térmico (Kirkpatrick y Gelatt, 1983).

2.7.1. El método del Recocido Simulado

Sea S el conjunto de soluciones posibles del sistema (a las que identificamos con los diferentes “estados del sistema”) y tenemos una función costo sobre los elementos de S (a la que identificamos con la

“energía del sistema”). Se quiere encontrar un elemento en S que minimice la función costo (análogamente, se trata de encontrar un estado en el cual la energía del sistema sea mínima). Se supone que los estados del sistema tienen la función de distribución de probabilidad de Boltzman, la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado j es:

$$P(j) = \frac{1}{Z_T} e^{-\frac{c(j)}{t}}$$

$$Z(t) = \sum e^{-\frac{c(j)}{t}}$$

Donde (suma sobre todos los elementos i de S) t es la temperatura del sistema y $c(i)$ es el costo de la solución i .

Sea S^* el subconjunto de S de las soluciones que minimizan c (globalmente, es decir soluciones óptimas del problema). Para t suficientemente chico:

De donde:

$$e^{-\frac{c(j^*)}{t}} \gg e^{-\frac{c(j)}{t}}$$

$$\forall j \neq j^*$$

Entonces:

$$P(j) = \frac{e^{-\frac{|c(j)|}{t}}}{\left\{ S^* e^{-\frac{|c(j^*)|}{t}} \right\}} = \begin{cases} 0 & \text{Si } j \neq j^* \\ \frac{1}{S} & \text{Si } j = j^* \end{cases}$$

(Esto se obtiene de tomar t tendiendo a 0)

Por lo tanto: $\sum_{j^*} P(j^*) = 1$ (suma sobre todos los j^* en S^*).

El algoritmo se divide en etapas. A cada etapa le corresponde una temperatura menor que la que tenía la etapa anterior (a esto hace referencia la monotonía: después de cada etapa la temperatura baja, se enfría el sistema). Por lo tanto hace falta un criterio de cambio de la temperatura (“cuánto tiempo” se espera en cada etapa para dar lugar a que el sistema alcance su “equilibrio térmico”) [3].

2.7.2. Datos iniciales y parámetros a ser definidos para poder inicializar el algoritmo:

- **Temperatura inicial (T_0)**

La temperatura inicial T_0 debe ser una temperatura que permita elegir el movimiento, es decir que la probabilidad de pasar del estado i al j (en $N(i)$) sea muy alta, sin importar la diferencia $c(j) - c(i)$. Esto es que el sistema tenga un alto grado de libertad. En problemas como TSP, donde el input son los nodos de un grafo y las soluciones posibles son distintas formas de recorrer estos nodos, puede tomarse T_0 proporcional a la raíz cuadrada de la cantidad de nodos. En general se toma un valor T_0 que se cree suficientemente alto y se observa la primera etapa para verificar que el sistema tenga un grado de libertad y en función de esta observación se ajusta T_0 [3].

- **Solución inicial (i_0)**

En todas las versiones, el sistema debe ser “derretido” antes de implementar el algoritmo. Esto es que la solución factible inicial que denominamos i_0 debería ser una solución tomada al azar del conjunto de soluciones factibles. En algunos problemas esto puede hacerse utilizando números pseudo-aleatorios provistos por una máquina. Pero en muchos casos ya es problemático encontrar una solución, por lo que es imposible tomar una al azar.

Este algoritmo busca la producción de un ciclo hamiltoniano uniendo una cantidad de bordes de grado dos, luego anexa el borde más corto cada vez, siempre que no haya sido, previamente y, cumpliendo con las condiciones de validez mencionadas en la Sección [3].

- **Factor de enfriamiento**

$$T_{\text{next}} = \alpha T \quad (\text{factor de enfriamiento geométrico, } \alpha < 1, \text{ muy cercano a } 1)$$

$$T_{\text{next}} = 1 / (1 + \beta T) \quad (\text{donde } \beta \text{ es un real positivo cercano a cero) [3].$$

- **Criterio de cambio de la temperatura**

Se usan dos parámetros: K = número de iteraciones que estamos dispuestos a hacer en cada etapa (equivalente a la cantidad de tiempo que vamos a esperar a que el sistema alcance su equilibrio térmico para una dada temperatura T); A = cantidad de aceptaciones que se permiten hacer en cada etapa [3].

A medida que T disminuye se supone que al sistema le resulta más difícil alcanzar un equilibrio porque es más dificultoso el movimiento, entonces hay que esperar más tiempo, esto se traduce en aumentar K. Parámetro de aumento de K (ρ , se usan valores alrededor de 1,05) [3].

- **Criterio de parada**

a) Lundy and Mees: si el algoritmo se detiene cuando $T < \varepsilon / [\ln (\#S - 1)/\theta]$. Donde #S es el cardinal del conjunto de soluciones (debe tenerse un

método de estimar este valor). Entonces, si i es la solución que da el algoritmo e i^* en un óptimo global, $P(|c(i) - c(i^*)| < \varepsilon) = \theta$

b) En general se utiliza un parámetro de congelamiento (FRZN). Como a medida que disminuye la temperatura, aumenta el parámetro K y A permanece constante, la proporción A/K se hace pequeña. Suponemos que si $A/K < \text{FRZN}$ el sistema está congelado (la cantidad de aceptaciones respecto de la cantidad de iteraciones es muy chica, esto da la idea de que cambiar de configuración es muy difícil) [3].

2.7.3. El Algoritmo [3].

1. $i = i_0$
2. $T = T_0$
3. $K = K_0$
4. While (condición de STOP)
5. While ($k < K \ \&\& \ a < A$)
6. generar j en $N(i)$
7. if ($c(j) - c(i) < 0$)
8. $i = j$
9. $a = a + 1$
10. Else
11. generar un numero r al azar
12. If ($r < \exp [(c(i) - c(j))/T]$)
13. $i = j$

14. $a = a + 1$
15. $k = k + 1$
16. $T = \alpha T$
17. $K = \rho K$
18. $k = 0$
19. $a = 0$
20. Mostrar $i, c(i)$.

2.8. Casos de Estudio

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

Elaborado por:

A. Guerrero-Campanur, R.E. Pérez-Loaiza, E. Olivares-Benítez.

(2011)

Resumen:

La heurística de asignación generalizada de Fisher & Jaikumar utilizada en el presente proyecto pertenece a los métodos de dos fases bajo la secuencia cluster first – route second, y se aplicó en un caso logístico del problema de ruteo vehicular múltiple (m-VRP) dentro de una empresa clasificada como PyME (pequeña y mediana empresa) dedicada a la

distribución de productos de papelería y oficina, en el cual m -vehículos parten a visitar a n -clientes y regresan a un mismo centro de distribución, deseando que el tour minimice los costos de transporte respetando la capacidad de cada uno de los m -vehículos así como la demanda del cliente.

2.8.2. “Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW”.

Elaborado por:

V. Yepes. (2002)

Resumen:

El propósito de la tesis consiste en la presentación de un modelo económico de distribución de mercancías que generalice los problemas de rutas sometidos a restricciones temporales de servicio “Vehicle Routing Problem With Time Windows” (VRPTW) y de un conjunto de técnicas heurísticas y metaheurísticas capaces de resolverlo eficientemente. El trabajo sistematiza el conjunto de métodos de optimización heurística y establece el estado de la técnica en relación con los procedimientos empleados en la resolución del problema VRPTW y sus extensiones. Tras constatar ciertas discrepancias entre los modelos teóricos y los casos reales, la tesis define una función objetivo que mide la rentabilidad económica de las operaciones, y flexibiliza los horarios de entrega con penalizaciones que

reflejen la insatisfacción de los clientes. Asimismo se contempla la posibilidad de contar con flotas heterogéneas de vehículos con costes fijos y variables diferenciados, así como capacidad de carga, velocidad y jornadas laborales distintas, y con la posibilidad del uso múltiple. Se incorpora la asimetría en la duración de los viajes, con tiempos de aproximación y de alejamiento que modulen el nivel de congestión por tráfico y otras dificultades de acceso.

Capítulo 3

Caso de Aplicación

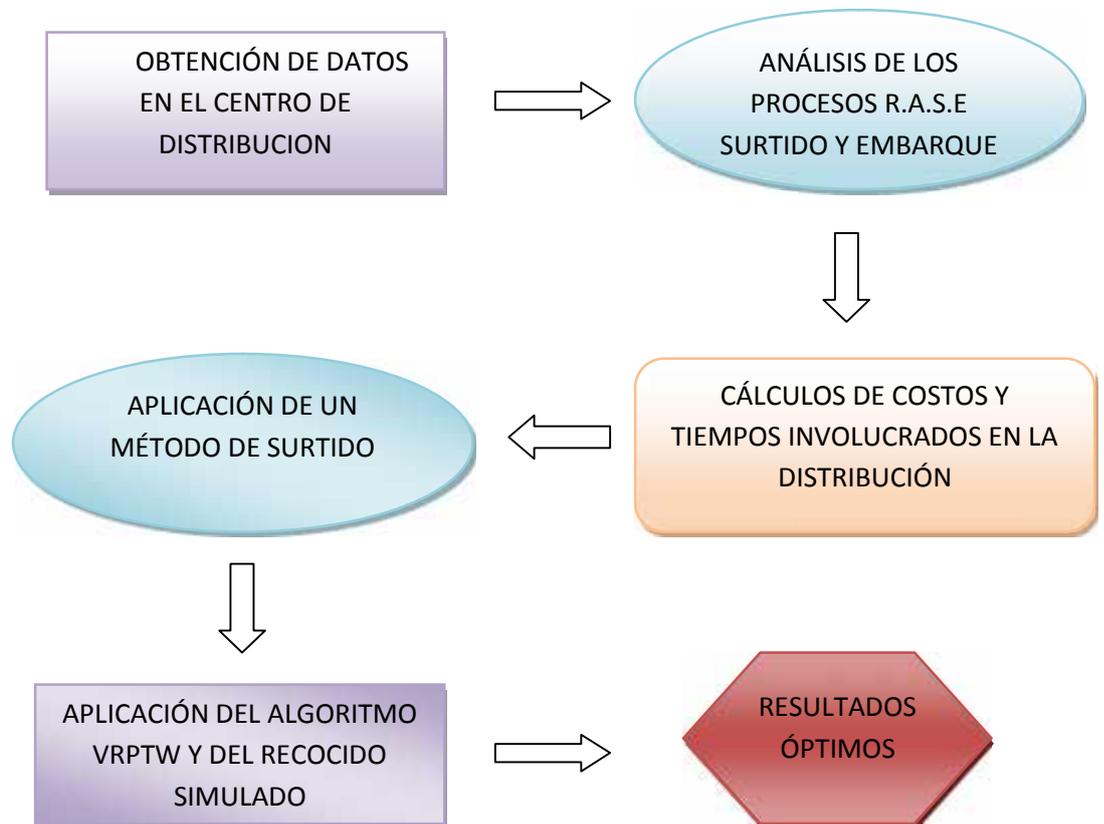
3.1. Introducción

Para lograr una correcta optimización de los costos de distribución, se resolverá el problema en dos etapas principales las cuales serán fundamentales para alcanzar el objetivo planteado en este proyecto.

La primera etapa se centrará en los Procesos RASE en donde importará el proceso de surtido o despacho de la mercadería y el embarque realizado al camión repartidor de mercadería, además de la aplicación de algún método de surtido que nos ayude en las operaciones de despacho dentro del Centro de Distribución.

La segunda etapa consistirá en crear la Red de Distribución utilizando técnicas de programación matemática construyendo un algoritmo VRP con la ayuda de la asignación de tiempos de entrega a cada cliente creando como resultado final el algoritmo llamado VRPTW.

3.2. Flujo de Procesos



3.3. Etapa 1

El Centro de Distribución actualmente cuenta con 191 clientes que se encuentran en la ciudad de Quevedo los cuales se tienen que atender durante un lapso de 30 días, atendiendo en un promedio de 63 clientes generando un promedio total de 140 facturas para entregarlas ya sea el día sábado o el lunes por la mañana, ocasionando el despacho de cientos de SKU's ya sean éstas surtidas en unidades o en cajas en donde se necesita

una cantidad de personas que se dediquen exclusivamente al despacho de las órdenes de pedido, luego la verificación de las mismas para empacarlas en fundas y ubicarlas en las gavetas o la verificación al momento de realizar el embarque.

Actualmente para despachar las listas de pedido, el área de bodega cuenta con 2 personas que se dedican a despachar las notas de pedido de la cobertura Quevedo del día sábado y para los pedidos que se envían el día lunes se cuenta con solamente una persona asignada para el despacho de coberturas y de clientes que retiran su mercadería en el Centro de Distribución.

A continuación se presenta el cálculo del costo por hora de un operador.

Tabla 3.1 – Costo del Operador

COSTO DEL OPERADOR			
CALCULO DEL COSTO			
SALARIO BASE MENSUAL	\$ 295,00	\$/mes	
SALARIO M TOTAL	\$ 295,00	\$/mes	
GRATIF ANUAL	\$ 1.416,00	\$/año	
SALARIO ANUAL R	\$ 4.956,00		
S MES REAL	\$ 413,00	\$/mes	
Costo/Hora	\$ 1,72	\$/H	
			SALARIO BASE \$ 295,00 \$/mes
			Beneficios anual sobre sueldo base 40%
			No de operadores por unidad 1

Fuente: Centro Distribución

Como se puede observar en la Tabla 3.1, el costo de una hora de un operador es de \$1.72.

Para atender todas las notas de pedido los 2 trabajadores realizaban 2 horas extras cada viernes y sábado, representando un pago anual de horas extras al 50% de \$247.68 mientras que al 100% un pago anual de \$330.24 generando un global de \$577.92 anuales tomando en consideración 2 días de trabajo, además de sumarle a todo esto el sueldo básico de cada trabajador da un total de \$8235,84 al año.

Tabla 3.2 – Sueldo Básico Anual

Sueldo	\$ 295,00	Hora Extra (50%)	\$ 2,58	Hora Extra (100%)	\$ 3,44
No. Trabajadores	2	Viernes (2 horas generadas)	\$ 5,16	Sábado (2 horas generadas)	\$ 6,88
\$/hora	\$ 1,72	Mensual (x 4 días)	\$ 20,64	Mensual (x 4 días)	\$ 27,52
		Anual (x 12 meses)	\$ 247,68	Anual (x 12 meses)	\$ 330,24
		COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)	\$ 577,92		
		COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)	\$ 4.117,92		
		COSTOS TOTAL X 2 TRABAJADORES	\$ 8.235,84		

Fuente: Centro Distribución

Para conocer el número de personas necesarias para la ejecución de despacho se realizará el siguiente cálculo matemático:

Tabla 3.3 – Cálculo de persona por despacho de notas de pedido

DETALLE	PROMEDIO N/P	No PERSONAS DESPACHO	PERSONAS/ DESPACHO	PERSONA	
PROMEDIO	140	3,50	4		1
VIERNES				HORAS/DIA	8
QUEVEDO COB.	110			MINUTOS/DIS	480
TOTAL	110	2,75	3	TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	6 MIN. UND.
SABADO				TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	18 MIN. CAJAS.
QUEVEDO COB.					12
TOTAL	30	0,75	1		

Fuente: Centro Distribución

Como podemos darnos cuenta para poder despachar la mercadería que se entrega el día sábado se necesitan 3 personas para que realice el surtido de todas las notas de pedidos generadas por los vendedores, mientras que para el lunes solamente se necesita una persona para despacho de las listas de pedidos.

Cabe mencionar que este número solamente es para que las personas que realizan el surtido lo hagan dentro de sus 8 horas laborables, y de esta manera generen cero horas extras, ya sea éstas al 50% o al 100%, obteniendo un costo anual solamente por sueldos de \$14160.00, debido a que con el personal necesario para esos días de despacho no se realizará ninguna hora extra.

Tabla 3.4 – Sueldo Total Anual

Sueldo	\$ 295,00	Hora Extra (50%)	\$ 2,58	Hora Extra (100%)	\$ 3,44
No. Trabajadores	4	Viernes (0 horas generadas)	\$ -	Sábado (0 horas generadas)	\$ -
\$/hora	\$ 1,72	Mensual (x 4 días)	\$ -	Mensual (x 4 días)	\$ -
		Anual (x 12 meses)	\$ -	Anual (x 12 meses)	\$ -
COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)				\$ -	
COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)				\$ 3.540,00	
COSTOS TOTAL X 4 TRABAJADORES				\$ 14.160,00	

Fuente: Centro Distribución

Para realizar un despacho eficiente de las notas de pedido, y para que una vez despachadas sean verificadas aplicaremos un Surtido Global Concentrado que nos ayudará a recorrer y recolectar de manera eficiente los pedidos generados por parte de los vendedores.

Luego de recolectar el pedido, la mercadería en unidades es ubicada en la zona de empaque donde el chequeador de mercadería verifica que todos los ítems despachados coincidan con las listas de pedidos. Luego las unidades verificadas por un chequeador son empacadas en gavetas en donde cada gaveta contiene 2 notas de pedido verificadas, el número de gavetas promedio que se envían en un camión son 35 a 40 gavetas.

Luego de que la mercadería sea verificada se realiza el proceso de embarque al camión repartidor, ubicando la mercadería de manera eficiente dentro del camión de tal manera que al momento de entregar a un cliente su pedido se pueda sacar la mercadería de manera rápida.

3.4. Etapa 2

Luego de identificar las necesidades y requerimientos de la etapa 1 se realizará un breve cálculo estimado del tiempo que el camión repartidor se demorará entregando la mercadería, este cálculo está sustentado en los tiempos de servicio de entrega a cada cliente.

Para obtener los tiempos se realizó un trabajo de campo acompañando en la entrega un día sábado con el fin de recoger todos los tiempos involucrados en la distribución.

Con la obtención de los datos se podrán realizar los cálculos de retorno del vehículo en función de la cantidad de notas de pedido, la fórmula es la siguiente:

Tiempo Estimado de Regreso = N° Clientes Cobertura * (Tiempo Promedio de Asistencia a los Clientes + Tiempo Promedio de Servicio entre Clientes + Tiempo de Ida + Tiempo de Retorno).

Tabla 3.5 – Cálculo de tiempos de entrega

<u>QUEVEDO COB.</u>								
# CLIENTES COBERTURA	CLTE. MAYORISTA	HORA SALIDA	HORA IDA	TIEMPO PROMEDIO DE ASISTENCIA A LOS CLIENTES	TIEMPO PROMEDIO DE SERVICIO ENTRE CLIENTES	TIEMPO PROMEDIO CLTE. MAYORISTAS	TIEMPO DE LLEGADA	TIEMPO ESTIMADO DE REGRESO
63	0	7:00:00	0:15:00	0:06:15	0:05:00	0:00:00	0:08:00	19:11:45

Fuente: Centro Distribución

Como se puede observar en la tabla 3.5, cuando se tienen que visitar 63 clientes, se obtiene un tiempo estimado de regreso a las 19H11, y debido a que la entrega se realiza un día sábado y la empresa labora solo hasta las 18H00 las personas que entregan la mercadería están realizando como mínimo 3 horas extras al 100% realizando un valor de \$495.36 anualmente por las 2 personas que están en la distribución ese día, además del costo del flete del transporte dando un valor total de \$10670.72 por año.

Tabla 3.6 – Costo total trabajadores

Sueldo	\$ 295,00	Hora Extra (50%)	\$ 2,58	Hora Extra (100%)	\$ 3,44
No. Trabajadores	2	Lunes (2 horas generadas)	\$ -	Sábado (3 horas generadas)	\$ 10,32
\$/hora	\$ 1,72	Mensual (x 4 días)	\$ -	Mensual (x 4 días)	\$ 41,28
Costo Vehículo	\$ 50,00	Anual (x 12 meses)	\$ -	Anual (x 12 meses)	\$ 495,36
COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)				\$ 495,36	
COSTO TOTAL HORAS EXTRAS (50% + 100%)				\$ 4.035,36	
COSTOS TOTAL X 2 TRABAJADORES				\$ 8.070,72	
Costo Transporte Alquilado				\$ 2.600,00	
Costo TOTAL				\$ 10.670,72	

Fuente: Centro Distribución

Esta cifra (\$10670.72) es aquella que se quiere minimizar junto con la distancia recorrida por kilómetro.

A continuación se muestra el cálculo de los costos fijos y variables de la unidad de transporte (dutos):

Tabla 3.7 – Costos Fijos y Variables

No.	PLACA	MODELO	Valor Histórico	Depreciación Anual	Depreciación Mensual	Kms. Inicial	Kms. Final	Meses	Prom. Kms recorridos	Prom. Kms recorridos Anual	Prom. Kms recorridos Mensual
1	GQG - 354	Hino Dutro-08	21.965,00	4.393,00	366,08	559	21.339	11	20.780	22.669	1.889,09
2	GQG - 825	Hino Dutro-08	22.080,36	4.416,07	368,01	506	10.989	5	10.483	25.159	2.096,60
3	GPP - 286	Hino Dutro-07	21.965,00	4.393,00	366,08	16.962	34.317	10	17.355	20.826	1.735,50

No.	PLACA	Coficiente Depreciación/Kms	Valor Asegurado	Costo del seguro Anual	Coficiente Seguro/Kms	Rendimiento Kms/galón	Recorrido anual vs. km/galón	Coficiente Costo de comb. x km.	Recorrido anual	%	Manten.vs. Recorrido anual
1	GQG - 354	0,1937881	26.000	905	0,03991338	20	1.133,45	0,05185	22.669	3,2745	1.674
2	GQG - 825	0,17552514	28.000	974	0,03872937	20	1.257,96	0,05185	25.159	3,6342	1.858
3	GPP - 286	0,21093825	24.000	835	0,04010372	20	1.041,30	0,05185	20.826	3,0083	1.538

No.	PLACA	Coficiente Costo de mant.x Km.	Matrícula y Soat año 2009	Coficiente Matrícula y Soat x kms.	Peajes Promedio Anual	Coficiente Peajes vs. kms.recorrid	Costos por km.
1	GQG - 354	0,07384561	659,61	0,02909733	287,32	0,01267473	0,40
2	GQG - 825	0,07384561	625,63	0,02486685	318,89	0,01267473	0,38
3	GPP - 286	0,07384561	408,91	0,01963459	263,96	0,01267473	0,41

0,40 Prom. Dutro

Fuente: Centro Distribución

Luego del análisis de los costos fijos y variables en la distribución comenzaremos a aplicar los métodos de ruteo inteligente y así determinar un costo junto a una ruta óptima.

Aplicando el ruteo rotativo por zonas se dividirá la cantidad de clientes para atenderlos en dos sectores diferentes, haciendo uso de los vehículos que cuenta el Centro de Distribución, logrando optimizar el costo de distribución, minimizando las horas extras y mejorando el nivel de servicio a cada cliente de ruta.

Realizando la división de los clientes de Quevedo en 2 zonas diferentes para realizar la entrega podemos observar en el gráfico la ubicación de cada uno de los clientes de la ciudad.

Con la ayuda del personal de ventas se ha realizado una encuesta a cada uno de sus clientes sobre el rango de tiempo límite para entregarle la mercadería solicitada por ellos, debido que ese dato nos será de gran ayuda para elaborar el algoritmo del VRPTW.

El ruteo vehicular empezará desde el nodo de origen, en este caso el Centro de Distribución con la salida de dos vehículos hacia cada una de las zonas, cada uno con un promedio de 50 facturas para realizar la entrega, cada cliente representará un nodo que el vehículo tendría que visitar.

Para poder realizar el algoritmo primero tenemos que obtener los datos que nos servirán en el modelo matemático que son las direcciones de cada uno de los clientes de la ciudad de Quevedo para luego ingresarlas al

programa matemático como coordenadas (x, y) , se considerará como ruta inicial la que tienen actualmente en el Centro de Distribución para hacer el reparto y posteriormente se la mejorará mediante la implantación de una metaheurística llamada Simulated Annealing en el software MATHEMATICA.

Con las coordenadas obtenidas se procede a calcular las distancias entre los clientes con el método de Manhattan para obtener una distancia aproximada, esto servirá como entrada para el programa. Las ventanas de tiempo de servicio han sido proporcionadas por el Centro de Distribución.

Se tomará como solución inicial, las rutas que tiene actualmente el Centro de Distribución, para que sean ingresadas al programa, con la finalidad de obtener una mejora para el plan de rutas y verificar una optimización en el recorrido.

El costo por cada km recorrido es de \$0.40, como se indicó en la tabla 3.7, dicho valor es calculado en base a los costos fijos y costos variables involucrados en el vehículo que realiza la distribución. Estos costos nos fueron facilitados por el Centro de Distribución.

Para los 63 clientes, el Centro de Distribución tiene las siguientes rutas iniciales y los días en que se realiza la distribución:

Tabla 3.8 – Rutas Iniciales

Ruta1 (Sábado)	{1,44,24,23,59,61,62,64,63,60,58,56,16,20,21,18, 19,15,17,22,13,9,11,12,14,8,10,4,3,5,29,2,7,1}
Ruta2 (Lunes)	{1,35,36,38,39,33,6,27,25,26,28,30,37,34,31,32, 42,43,45,40,47,52,54,53,57,55,51,50,49,48,41,46,1}
Recorrido Total	280.50 Kms

Fuente: Propia

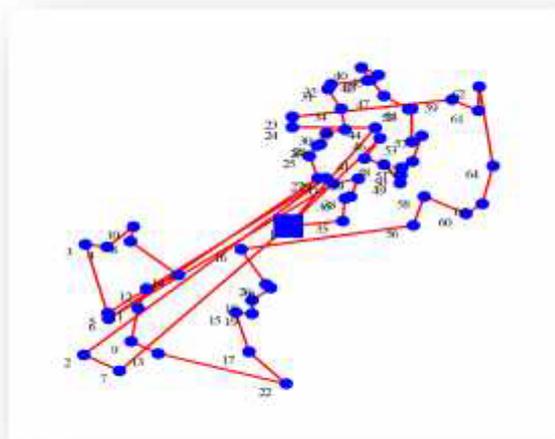


Gráfico 3.1 – Ruta Inicial

A partir de estos datos, en el capítulo posterior, se comparará con las rutas que se obtendrán con el algoritmo del VRPTW, así como también con las rutas que se obtengan con la metaheurística llamada “Recocido Simulado”.

Para realizar el algoritmo del VRPTW, se necesitan las coordenadas del Centro de Distribución y de los clientes (El Centro de Distribución se etiquetará como 1 y los clientes con números del 2 al 64). Además se necesita la ventana horaria para la atención al cliente, cabe recalcar que se utilizarán ventanas de tiempo duras, es decir, no se puede visitar un cliente ni antes ni después de la ventana horaria establecida.

A partir de las coordenadas se obtendrá la matriz de distancias, cuyos datos están en kilómetros, para luego proceder con el algoritmo del VRPTW.

Con este algoritmo se obtienen las siguientes rutas:

Tabla 3.9 – Nuevas Rutas

Ruta1 (Sábado)	{1,35,36,38,39,33,29,27,25,26,28,30,37,34,31,32,42,43,45, 40,47,52,54,53,57,55,51,50,49,48,41,46,44}
Ruta2 (Sábado)	{1,24,23,59,61,62,64,63,60,58,56}
Ruta 3 (Lunes)	{1,16,20,21,18,19,15,17,22,13,9,11,12,14,8,10,4,3,5,6,2,7}
Recorrido Total	168.83 Kms

Fuente: Propia

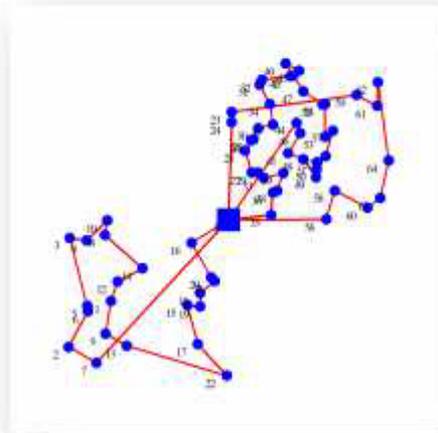


Gráfico 3.2 – Nueva Ruta

Esta nueva ruta será la solución inicial para el Recocido Simulado. Los resultados del mismo se mostrarán en el siguiente capítulo, para su respectivo análisis.

Capítulo 4

Análisis de Resultados

Luego de la aplicación del Recocido Simulado, para ver la posibilidad de mejorar la solución previamente obtenida en el capítulo anterior, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4.1 – Resultados Recocido Simulado

<p>Iteración 1</p> <p>Nueva Ruta = [1, 25, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 25, 8, 37, 36, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 51, 52, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 14, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 15, 13, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 30, 17, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 175.002</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 25, 30, 37, 30, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 51, 55, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 14, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 15, 13, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 3, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 169.028</p>
<p>Iteración 2</p> <p>Nueva Ruta [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 31, 43, 31, 32, 42, 34, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 195.065</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 31, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 14, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 169.623</p>
<p>Iteración 3</p> <p>Nueva Ruta = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 31, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 44, 1, 19, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 24, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 199.364</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 31, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 169.633</p>
<p>Iteración 4</p> <p>Nueva Ruta [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 36, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 248.506</p> <p>Ruta Actual [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 36, 31, 32, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 45, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 169.623</p>

<p>Iteración 5</p> <p>Nueva Ruta = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 31, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 50, 50, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 20, 13, 9, 11, 10, 11, 8, 7, 3, 3, 5, 5, 2, 10, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 168,46</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 31, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 50, 50, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 168,828</p>
<p>Iteración 6</p> <p>Nueva Ruta = [1, 35, 36, 38, 33, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 2, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 64, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 167,51</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 38, 33, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 168,528</p>
<p>Iteración 7</p> <p>Nueva Ruta = [1, 35, 36, 37, 37, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 40, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 17, 20, 21, 18, 19, 15, 16, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 168,273</p> <p>Ruta Actual = [1, 35, 36, 37, 37, 33, 29, 27, 25, 26, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 45, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 40, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 18, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 168,528</p>
<p>Iteración 8</p> <p>Nueva Ruta = [1, 34, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 27, 28, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 41, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 10, 15, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 21, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Nueva Ruta = 168,095</p> <p>Ruta Actual = [1, 34, 36, 38, 39, 33, 29, 27, 27, 28, 28, 30, 37, 34, 31, 32, 42, 43, 41, 40, 47, 52, 54, 53, 57, 55, 51, 50, 49, 48, 41, 46, 44, 1, 24, 23, 59, 61, 62, 64, 63, 60, 58, 56, 1, 16, 20, 21, 15, 19, 15, 17, 22, 13, 9, 11, 12, 14, 8, 10, 4, 3, 5, 6, 2, 7, 1]</p> <p>Costo Ruta Actual = 168,828</p>

Fuente: Propia

Se puede observar claramente que ninguna de las rutas generadas por el Recocido Simulado mejora la ruta inicial obtenida con el algoritmo VRPTW.

Entonces la ruta resultante será:

Ruta 1 (Sábado) =

{1,35,36,38,39,33,29,27,25,26,28,30,37,34,31,32,42,43,45,
40,47,52,54,53,57,55,51,50,49,48,41,46,44}

Ruta 2 (Sábado) =

{1,24,23,59,61,62,64,63,60,58,56}

Ruta 3 (Lunes) =

{1,16,20,21,18,19,15,17,22,13,9,11,12,14,8,10,4,3,5,6,2,7}

Recorrido Total: 168.83 Kms

Y el costo total de ruta será de: $\$0.40 * (\text{Kms recorridos})$

Generando un costo total de $\$0.40 * 168.83$

Lo que nos da: $\$67.53$

Volviendo a la ruta actual del Centro de distribución:

Ruta1 (Sábado) =

{1,44,24,23,59,61,62,64,63,60,58,56,16,20,21,18,19,
15,17,22,13,9,11,12,14,8,10,4,3,5,29,2,7,1}

Ruta2 (Lunes) =

{1,35,36,38,39,33,6,27,25,26,28,30,37,34,31,32,42,43,45,40,
47,52,54,53,57,55,51,50,49,48,41,46,1}

Recorrido Total: 280.50 Kms

Generando un costo de $\$0.40 * 280.50$

Entonces se tiene que el costo total por el ruteo inicial es de:

\$112.20

Como se puede observar hay una diferencia de \$64,67 entre la nueva ruta y la ruta actual de la empresa, por lo que se puede concluir que este proyecto es factible para su aplicación.

Por otro lado, como podemos darnos cuenta aplicando los distintos métodos de surtido, verificación y embarque se ha logrado minimizar las devoluciones en lo que concierne a errores de despacho, haciendo una comparación del mes de Junio vs Julio obteniendo una reducción de cerca del 30% y en lo que respecta a local cerrado una reducción del 38%.

Tabla 4.2 – Devoluciones

<i>DEVOLUCIONES</i>		JUNIO	JULIO
MOTIVO	AREA RESPONSABLE	VALOR (\$)	VALOR (\$)
Merc. Corta fecha de caducidad	BODEGA	\$ 7,12	\$ -
Merc. Falta de stock físico	BODEGA	\$ 26,24	\$ 5,69
Merc. Faltante en caja sellada	BODEGA	\$ -	\$ 0,25
PROD. CAMBIADO EN EMPAQUE SELLADO	BODEGA	\$ -	\$ -
Merc. Dañada en transporte	BODEGA	\$ -	\$ 3,39
Clte. Error al dar de baja	BODEGA (ADMINISTRATIVO)	\$ 0,88	\$ 0,84
Merc. Mal despachada	BODEGA/DISTRIBUCION	\$ 55,75	\$ 17,52
Merc. Mal presentada	BODEGA/DISTRIBUCION	\$ 40,50	\$ 12,53
Clte. Desea para la siguiente entrega	VENTAS	\$ 5,00	\$ 64,81
Clte. Desiste de la compra por no enviar un producto	VENTAS	\$ 11,77	\$ 6,05
Clte. Error en pedido	VENTAS	\$ 205,92	\$ 189,87
Clte. No le alcanzo el dinero, fact. parcial	VENTAS	\$ 38,38	\$ 70,15
Clte. No se encuentra en el local	VENTAS	\$ 75,88	\$ 43,53
Clte. Sin dinero	VENTAS	\$ 299,15	\$ 258,96
Vta. Diferencia de precio (N/C)	VENTAS	\$ 33,13	\$ 72,42
Vta. Error en dirección de entrega	VENTAS	\$ -	\$ -
Vta. Error en fecha asignada para entrega-pedido	VENTAS	\$ 4,99	\$ -
Clte. Dif. En descuento/precios	VENTAS	\$ 1,21	\$ 30,54
Vta. Pedido no solicitado	VENTAS	\$ 82,15	\$ 36,21
Vta. Pedido duplicado	VENTAS	\$ 12,68	\$ 12,24
Clte. Local cerrado	VENTAS/DISTRIBUCION	\$ 318,35	\$ 120,61
TOTAL DEVOLUCIONES		\$ 1.219,08	\$ 945,58

Fuente: Centro de Distribución

Finalmente como resultado final aplicando los métodos de ruteo inteligente y el análisis de los procesos RASE en toda la distribución se obtuvo un reducción del 78% en todos los motivos de devolución y se logró un mejor tiempo de despacho en todas las zonas de ubicación de la mercadería.

Tabla 4.3 – Tiempo Promedio Despacho.

DETALLE	PROMEDIO N/P	ANTES No PERSONAS DESPACHO	DESPUES PERSONAS/ DESPACHO
ZONA 1	28	0,70	0,58
ZONA 2	13	0,33	0,27
ZONA 3	17	0,43	0,35
ZONA 4	18	0,45	0,38
ZONA 5	11	0,28	0,23
ZONA 6	7	0,18	0,15
ZONA 7	16	0,40	0,33
		3	2 personas

HORAS/DIA	8
MINUTOS/DISPONIBLES	480

TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	6 MIN.	UND.
TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	18 MIN.	CAJAS.
	12	

TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	4 MIN.	UND.
TIEMPO PROMEDIO DESPACHO	16 MIN.	CAJAS.
	10	

Fuente: Propia

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. CONCLUSIONES

- Este trabajo ha sido realizado con el afán de conseguir un nuevo método de ruteo para poder optimizar la entrega en el Centro de Distribución, debido a que por la gran cantidad de demanda de clientes a satisfacer, un vehículo no alcanzaba a visitar a todos los puntos de entrega y de esta manera se generaban devoluciones por locales cerrados o clientes que no se encontraban en el local, pudiéndose de esta manera reducir un 78% de las devoluciones.
- En los procesos de surtido en unidades se logró minimizar un tiempo de despacho de 12 minutos a 10 minutos ordenando el recorrido que el personal operativo realizaba, lográndose ejecutar un surtido global o concentrado, para que el que realiza el despacho logre un surtido eficiente en cada zona, reduciendo el tiempo en despacho de las notas de pedido. Lográndose minimizar los errores de despacho en un 34% y una entrega rápida de la mercadería a los clientes, reduciéndose el tiempo de entrega en un promedio de 4 horas.

- Se consideró la ruta que realizaba el Centro de Distribución para compararla con las nuevas rutas, esta ruta la realizaban por sentido común visitando al cliente más cercano después de haber entregado al último. Pudiendo verificar que las nuevas rutas son mejores, puesto que la distancia total recorrida es menor.
- Finalmente se puede observar que al aplicar el algoritmo VRPTW pudimos obtener una reducción en la distancia recorrida, generando un ahorro en el costo de la distribución dividiendo la zona de Quevedo en 3 zonas, entregándose en 2 zonas los días sábados y en 1 zona los días lunes. Se tiene un ahorro en distancia de 111.67 km y un valor de \$2144.16 anual. Por tal motivo se puede concluir que es mejor enviar la cobertura de Quevedo en los carros que pertenecen al Centro de Distribución.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para trabajos futuros se recomienda considerar la capacidad de los vehículos a la hora de hacer el ruteo, para mejorar considerablemente la distribución, debido a que existen heurísticas que pueden ayudar a generar rutas óptimas como solución inicial en función de la capacidad de la flota de distribución y luego mejorar esa solución con una metaheurística.
- Para minimizar los errores de despacho o surtido se recomienda identificar, clasificar (A, B, C) y reordenar la mercadería ubicada para de esta manera capacitar al personal operativo sobre cómo realizar el proceso de surtido y lograr eficiencia esperada en la aplicación de los métodos antes mencionados.
- Para obtener una completa logística de distribución se debe considerar todos los procesos RASE, calculando todos los costos involucrados en dicho proceso y de esta manera obtener un óptimo global.
- Para minimizar las devoluciones cuando se realiza la entrega de mercadería a los clientes como por ejemplo, pedidos no solicitado,

errores de pedido, pedidos duplicados, etcétera, como también embarques o pedidos de última hora se debe tener en consideración una buena comunicación entre el área de Ventas-Logística.

- La implantación de sistemas GPS para la ubicación de las coordenadas, ya que al momento no existe información referente a las calles de la ciudad de Quevedo.
- Al momento del cálculo de distancias se recomienda trabajar con las coordenadas UTM (x, y), En caso de tener las coordenadas en Longitud y Latitud se las puede transformar ingresando al siguiente link: <http://www.atlascajamarca.info/conversor/>.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aguilera, J. (Febrero de 2007). *Grupo Ingeniería de Organización - IO*. Recuperado el Julio de 2012, de Sitio Web IO:
http://io.us.es/cursos/doctorado/Trabajos_pdf/Jorge_Aguilera_VRPTW.pdf
- [2] *AmiLab - UAM (Universidad Autónoma de Madrid)*. (21 de Octubre de 2011). Recuperado el 8 de Septiembre de 2012, de Sitio Web AmiLab:
<http://amilab.ii.uam.es/doku.php?id=talf2>
- [3] Araujo Carrión, D., & Bustamante, J. (2006). *Dspace*. Recuperado el 7 de Julio de 2012, de Sitio web Dspace:
www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../5739/7/CAPITULO%204.doc
- [4] Cruz Chavez, M. A. (2009). *Universidad Autonoma del Estado de Morelos*. Recuperado el 5 de Junio de 2012, de Sitio Web UAEM:
<http://www.uaem.mx/posgrado/mcruz/doctor/vrptw.htm>
- [5] Herrera, F. (2009). *Sci2s*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Sitio web Sci2s: <http://sci2s.ugr.es/docencia/metaheuristicas/Int-Metaheuristicas-CAEPIA-2009.pdf>
- [6] Merino, V. M. (2011). Programa de Gestores Especializados en Logística - Módulo 2. *TBL The Bottom Line*, (pág. 49). Guayaquil.
- [7] Merino, V. M. (2011). Programa de Gestores Especializados en Logística de Distribución - Módulo 1. *TBL The Bottom Line*, (págs. 20,28,58-61). Guayaquil.
- [8] Palacios Somohano, D. (21 de Noviembre de 2003). *Colección de Tesis Digitales Universidad de las Americas Puebla*. Recuperado el 30 de Julio de 2012, de Sitio Web CIRIA UDLAP:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/palacios_s_d/capitulo2.pdf
- [9] Romo, P., & Salinas, C. (11 de Noviembre de 2008). *CEC-Universidad de Chile*. Recuperado el 7 de Julio de 2012, de Sitio Web CEC - Univesidad de Chile:
www.cec.uchile.cl/~swilson/cipres/send.php?file...docx
- [10] *Wikipedia*. (14 de Junio de 2012). Recuperado el 7 de Septiembre de 2012, de Sitio Web Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_recocido_simulado
- [11] *Wikipedia*. (14 de Septiembre de 2012). Recuperado el 30 de Septiembre de 2012, de Sitio Web de Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pallet>

7. ANEXOS

7.1. Anexo A - Información sobre los clientes

Ciudad	Cliente_Padre	Zona_Hijo	DireccionCliente
Quevedo	AILLON ROBINSON ERNESTO (C) - QC0001493	Ruta Qvd 01.03.01	SIMON BOLIVAR Y LA OCTAVA
Quevedo	ALVAREZ BENITEZ DINA ROCIO (C) - QC0001497	Ruta Qvd 01.03.01	AV GUNE GUZMAN ENTRE DECIMA TERCERA Y CUARTA
Quevedo	ALVAREZ NIETO ANGEL PALATIN - Q005365	Ruta Qvd 01.03.01	VIVA ALFARO POR EL CLIENTE GUACHI QUISPE
Quevedo	AMAGUAÑA BURGA JUAN - Q000510	Ruta Qvd 01.03.01	MERCADO MALECON POR LA ESC MANUEL J CALLE 1RE PUESTO
Quevedo	AMAGUAÑA BURGA JUANA - Q005766	Ruta Qvd 01.03.01	MERCADO DE MALECON PUESTO #35 CERCA CAIZA HINOJOZA
Quevedo	AMAGUAÑA BURGA LUZMILA (C) - QC0001514	Ruta Qvd 01.03.01	MERCADO DEL MALECON 2DO PUESTO JUNTO A LA PLZA DE MARISCOS
Quevedo	ANTAMBA OTAVALO JOSEFINA - Q005468	Ruta Qvd 01.03.01	MERCADO DEL MALECON CENTRAL JUNTO QUISHE NELSON
Quevedo	ARGUEYO VERA FELICITA (C) - QC0001121	Ruta Qvd 01.03.01	PARR. 7 DE OCTUBRE 6TA Y LA J ESQUINA
Quevedo	BARRAGAN GAIBOR JOSE EDUARDO (C) - QC0000908	Ruta Qvd 01.03.01	AV JAIME ROLDOS Y LA 31 ESQUINA -
Quevedo	BASANTES QUINGALUISA FELIX MORA (C) - QC0001903	Ruta Qvd 01.03.01	12 de octubre y décima tercera diagonal a Yantalima
Quevedo	BENAVIDES MENDEZ DIEGO ORLANDO - Q005618	Ruta Qvd 01.03.01	CENTRO DIAGONAL A LA TORTA FRENTE A MAYORISTA
Quevedo	BRIONES CABRERA DOLORES JOSEFA (C) - QC0001157	Ruta Qvd 01.03.01	CALLE BOLIVAR MERCADO N° 3 PUESTO 67

Quevedo	BRIONES PLUAS FREDDY - Q005717	Ruta Qvd 01.03.01	EL DESQUITE A 1 CUADRA DE CARDENAS CARDENAS
Quevedo	CABRERA ORELLANA SONIA JAQUELINE - Q007071	Ruta Qvd 01.03.01	AV WALTER ANDRADE POR RESTAUT MAOMA
Quevedo	CAIZA HINOJOZA LUZMILA - QC0001951	Ruta Qvd 01.03.01	QVDO.CENTRO MERCADO DE MALECON PUESTO 51
Quevedo	CALERO OCAMPO MARITZA GISSELA (C) - QC0001989	Ruta Qvd 01.03.01	CDLA. 17 DE MARZO RECORRIDO DE LA 8 ANTES DE LA CANCHA
Quevedo	CARDENAS CARDENAS JOSE PILCO - Q005164	Ruta Qvd 01.03.01	DESQUITE, ESTACION DE LA LINEA 4 EJECUTIVO
Quevedo	CARRANZA GARCIA FRANCISCO DANILO - QC0001983	Ruta Qvd 01.03.02	Qvdo. PROMEJORAS Calle Tercera entre la H - I-
Quevedo	CARREÑO RUIZ SEBASTIANA (C) - QC0001496	Ruta Qvd 01.03.02	cdla promejoras entre la J y la E
Quevedo	CASTRO VERA NATALY - Q005798	Ruta Qvd 01.03.02	EL DESQUITE AV JAIME ROLDOS Y 15 AVA
Quevedo	CEDEÑO RODRIGUEZ YINA ESPERANZA - Q005615	Ruta Qvd 01.03.02	COOP. VIVA ALFARO CALL. JAIME ROLDOS AGUI. Y LA 30
Quevedo	CEREZO SEGOVIA LORENA ADALILA (C) - QC0001494	Ruta Qvd 01.03.02	SIMON BOLIVAR Y LA OCTAVA
Quevedo	CEVALLOS RODRIGUEZ ISABEL MAURA (C) - QC0000543	Ruta Qvd 01.03.02	CALLE 22ava. FRENTE A EMELGUR
Quevedo	CHAVEZ AYALA ERIKA KATHERINE (C) - QC0001203	Ruta Qvd 01.03.02	BARRIO EL MIRADOR FRENTE CDLA LOS ANGELES
Quevedo	CHILUISA AGUAYO LAURA KATHERINE - Q005687	Ruta Qvd 01.03.02	CALLE UNIDAD NACIONAL Y LA A ESQUINA
Quevedo	CHILUISA AGUAYO NELSON (C) - QC0001545	Ruta Qvd 01.03.02	PROMEJORA AV. OTTO AROSEMENA (PERIMETRAL)Y LA C
Quevedo	CHIRIBOGA ZAMORA GLORIA (C) - QC0001544	Ruta Qvd 01.03.02	RECORRIDO DE LA RUTA 7 ANTES DEL COLEGIO LOS CHAPULOS
Quevedo	CORO PERALTA FRANCISCA MARIA - Q005148	Ruta Qvd 01.03.02	LOS CHAPULOS(rut 7 atras de antena movistar 9na y 10ma)
Quevedo	COX CARVAJAL AMADA ELZABETH (C) - QC0001140	Ruta Qvd 01.03.02	PARR. VIVA ALFARO CALLE JAIME ROLDOS Y 32AVA
Quevedo	CRIOLLO AGUILAR CARLOS HUMBERTO - Q005601	Ruta Qvd 01.03.02	MERCADO DEL MALECON PUESTO # 36

Quevedo	CRIOLLO AGUILAR CARLOS HUMBERTO - Q005601	Ruta Qvd 01.03.02	SAN JACINTO AV MORASPUNGO CALLE PRINCIPAL
Quevedo	CRIOLLO AGUILAR CARLOS HUMBERTO - Q005601	Ruta Qvd 01.03.02	LOTIZACION LA PRADERA
Quevedo	CRIOLLO AGUILAR VICENTE - QC0001952	Ruta Qvd 01.03.02	QVDO. CENTRO MERCADO DEL MALECON PUESTO 37
Quevedo	CRUZ MORAN MARIA CECILIA - Q005580	Ruta Qvd 01.03.02	TERCERA ETAPA MANZANA 6
Quevedo	DELGADO ROSA FRANCISCA - QC0001984	Ruta Qvd 01.03.02	Qvdo. Cdla. Promejoras CALLE QUINTA Y LA E ESQUINA
Quevedo	DIEGUEZ MORENO ENRIQUETA - Q005163	Ruta Qvd 01.03.02	PARROQ 7 DE OCTUBRE CALLE 3RA Y LA G (ABARROTOS ENRIQUETA)
Quevedo	ESPINOZA INTRIAGO SULAY - Q005408	Ruta Qvd 01.03.02	Via Empalme Colina D RECUERDO TIENDA "GRACIELITA"
Quevedo	ESPINOZA LIDIA MARIANA - Q005391	Ruta Qvd 01.03.02	CDLA. LOS CHOFERES CALLE "B" EN EL ALMENDRO 1 CUADRA ANTES DE CLINI
Quevedo	FALCONEZ ASPIAZU CRISTHIAN BERNARDO - Q005749	Ruta Qvd 01.03.02	CDLA. GUAYACAN 3ERA ETAPA PANIFICADORA QUITO
Quevedo	FRANCO CORDOVA SONIA MARIA (C) - QC0000733	Ruta Qvd 01.03.03	San Camilo, Panama y Guatemala esquina
Quevedo	GALAN LOPEZ MANUEL - QC0001981	Ruta Qvd 01.03.03	Centro Calle Sexta no.- 225 diagonal del Chifa Miraflores
Quevedo	GUACHI QUISPE TERESA (C) - QC0001025	Ruta Qvd 01.03.03	VIVA ALFARO CALLE VIGESIMA CUARTA Y VICENTE ROCAFUERTE ENTRADA AL
Quevedo	GUALACATA TOCAGON JUANA - Q005743	Ruta Qvd 01.03.03	MERCADO MALECON CERCA DE LA PLAZA DE MARISCO
Quevedo	GUERRA CASTILLO MARLENE DEL CARMEN - Q007186	Ruta Qvd 01.03.03	CID PRMEJORAS FRENTE AL REGISTRO CIVIL
Quevedo	GUERRERO AGUIRRE BEATRIZ (C) - QC0000735	Ruta Qvd 01.03.03	AVENIDA 7 DE OCTUBRE Y 4Ta. CHIFA HONG KOM
Quevedo	GUERRERO EDWIN DALGO - Q005686	Ruta Qvd 01.03.03	20 MTRS ANTES DE LA COLINA DE LOS RECUERDOS
Quevedo	HAZ LARREA YVONNE VERONICA (C) - QC0000747	Ruta Qvd 01.03.03	7 DE OCTUBRE Y JUNE GUZMAN A LADO LAVADORA FONFAY
Quevedo	HERNANDEZ REYES PEDRO - Q005369	Ruta Qvd 01.03.03	SAN CAMILO CALLE ARGENTINA Y JOSE MEJIA CASA #510

Quevedo	HOLGUIN VERA GABRIELA (C) - QC0000700	Ruta Qvd 01.03.03	San Camilo, J. J. Olmedo y la A, pasando el parque
Quevedo	JACOME GUTIERRES MARIA ALEJANDRINA - Q005767	Ruta Qvd 01.03.03	CALLE DECIMA CUARTA Y CATORCEAVA DIAG. A LIBRERIA DIPERGLAS
Quevedo	LI JIANRONG - QC0000580	Ruta Qvd 01.03.03	GUAYACAN 2DA ETAPA AGUA POTABLE
Quevedo	LOAIZA IÑIGUEZ EFREN ISAIAS - Q005304	Ruta Qvd 01.03.03	FRENTE A ESCUELA QUITO DIAG. A SUPER ÉXITO
Quevedo	LOOR PILOSO MARTHA SOLEDAD (C) - QC0001961	Ruta Qvd 01.03.03	PARRQ. 7 DE OCTUBRE CALLE "A" ENTRE 1ER Y 2DA
Quevedo	LOPEZ CRUZ DIAHANN BERNARDA - Q007144	Ruta Qvd 01.03.03	SAN CAMILO CALLE MEXICO Y BRAZIL ESQ. MINI DESPENSA DAYIS
Quevedo	LORENTY ALVARADO MELBA (C) - QC0000416	Ruta Qvd 01.03.03	GUAYACAN, 2DA. ETAPA EST. LINEA 7 FRENTE PARQ. LA PERLA
Quevedo	MACIAS ZAMBRANO KLEBER - Q007165	Ruta Qvd 01.03.03	VIA EL EMPALME COLINAS DE LOS RECUERDO DETRA DE LA IGLESIA
Quevedo	MALDONADO OSORIO MARIO EDMUNDO (C) - QC0000807	Ruta Qvd 01.03.03	DECIMA 710 Y 12 DE OCTUBRE COMERCIAL MATIOLI
Quevedo	MARELO DICADO EMILIA MAGALY - Q007145	Ruta Qvd 01.03.03	EL GUAYACAN SEGUNDA FRENTE A FARMACIA LA ECONOMIA
Quevedo	MARTILLO SALTOS GERTRUDIS (C) - QC 0000411	Ruta Qvd 01.03.04	SAN CAMILO CAMILO AREVALO 511 Y ARGENTINA
Quevedo	MARTINEZ TRAVEZ MONICA MARIBEL (C) - QC0001263	Ruta Qvd 01.03.04	SAN CAMILO PANAMA Y AV EJERCITO ESQ. COM DON ALFREDO
Quevedo	MENA ALAVA AMARA ALEXANDRA - Q007025	Ruta Qvd 01.03.04	AV. WALTER ANDRADE FRET. A LA LOMA
Quevedo	MIELES MUÑOZ ROSA - Q005189	Ruta Qvd 01.03.04	CDLA LA SALUD AV WALTER ANDR Y SEXTA POR REGISTRO CIVIL
Quevedo	MONTENEGRO MUÑOZ PITER JOSE (C) - QC0001247	Ruta Qvd 01.03.04	GARCIA MORENO Y DECIMA SEGUNDA
Quevedo	MONTOYA LEON MARTHA JAZMIN - Q005510	Ruta Qvd 01.03.04	CALLE BOLIVAR Y DECIMA JUNTO A LEON HOYOS

7.2. Anexo B – Tiempo de entrega a cada cliente.

COBERTURA QUEVEDO

No. FACTURA	29	HORA SALIDA	LUGAR SALIDA	HORA LLEGADA	LUGAR LLEGADA	TIEMPO ENTRE PUNTO DE SALIDA Y LLEGADA	TIEMPO DE SERVICIO
No. CLIENTE	QC 000000	8:15	DEVIES	8:30	1894	0:15	0:05
KM. SALIDA	6178	8:35	1894	8:37	1938	0:02	0:03
KM. LLEGADA	6231	8:40	1938	8:44	50	0:04	0:04
TOTAL KM	53	8:48	50	8:52	1923	0:04	0:03
		8:55	1923	8:58	1503	0:03	0:09
		9:07	1503	9:10	586	0:03	0:04
		9:14	586	9:20	1500	0:06	0:04
		9:24	1500	9:25	1501	0:01	0:02
		9:27	1501	9:29	1136	0:02	0:05
		9:34	1136	9:36	1553	0:02	0:09
		9:45	1553	9:52	1053	0:07	0:09
		10:01	1053	10:04	1502	0:03	0:03
		10:07	1502	10:18	1203	0:11	0:07
		10:25	1203	10:38	5189	0:13	0:03
		10:41	5189	10:44	1121	0:03	0:03
		10:47	1121	10:52	1961	0:05	0:03
		10:55	1961	11:02	1960	0:07	0:02
		11:04	1960	11:10	1100	0:06	0:06
		11:16	1100	12:01	1424	0:45	0:04
		12:05	1424	12:08	1550	0:03	0:05
		12:13	1550	12:15	1549	0:02	0:02
		12:17	1549	12:20	1955	0:03	0:03
		12:23	1955	12:33	1943	0:10	0:01
		12:34	1943	12:40	1995	0:06	0:05
		12:45	1995	12:54	1104	0:09	0:01
		12:55	1104	12:59	267	0:04	0:16
		13:15	267	13:24	732	0:09	0:02
		13:26	732	13:29	1991	0:03	0:01
		13:30	1991	13:38	DEVIES	0:08	

7.3. Anexo C – Coordenadas de ubicación de los clientes

Coordenada X	Coordenada Y
540440,50338207	1176091,56357760
540448,29233348	1176092,37004191
540448,87570897	1176099,34668679
540443,73808077	1176095,86507980
540442,43554818	1176094,28374136
540452,36360685	1176097,15180379
540446,12542556	1176095,10689916
540446,43942101	1176093,73418372
540452,12227998	1176102,52061533
540449,06323959	1176101,76615089
540450,80639248	1176097,46238873
540452,00362075	1176102,46415223
540444,15376247	1176095,28987289
540440,56530233	1176092,29876273
540444,90689377	1176100,68353411
540441,99510692	1176096,95503301
540447,82344215	1176103,18180390
540444,77793905	1176102,60509709
540449,13653282	1176098,85904157
540448,94714044	1176094,97270084
540442,44470286	1176092,31956670
540451,77156294	1176101,27325345
540449,39367228	1176101,94123670
540443,53551885	1176100,37546711

540444,89105369	1176101,46673307
540444,46946344	1176101,18946039
540450,90710267	1176097,30015264
540449,62442099	1176101,00105170
540445,49549007	1176102,11151445
540449,21727615	1176101,50487393
540444,89681606	1176102,57542876
540451,90133310	1176102,00384597
540444,62339178	1176092,49806242
540452,03632456	1176097,29124656
540451,08982439	1176098,61669214
540444,24257302	1176098,33269864
540451,10753234	1176097,92944639
540443,97926140	1176096,76271526
540440,81117361	1176092,96861780
540444,63568993	1176101,28069437
540444,60403267	1176103,14326646
540449,08107525	1176091,73481648
540450,07381396	1176099,39553511
540443,48047904	1176100,38293121
540434,00074791	1176089,56202591
540430,10775630	1176088,00180606
540438,61810553	1176088,67274759
540432,88208859	1176079,58723365
540429,30977064	1176083,54194839
540428,77241151	1176079,95705468
540435,01977562	1176087,37888909
540429,31710005	1176087,11480102

540431,87262386	1176085,06417496
540435,95350198	1176088,33232396
540436,91061360	1176084,66668578
540435,84246977	1176086,09238692
540434,76727364	1176086,74709863
540430,18553117	1176083,74903634
540438,64428047	1176085,99510553
540431,16935569	1176085,56566136
540433,47944870	1176091,52208618
540436,99987631	1176090,17481924
540432,90396054	1176091,25085038
540428,69749482	1176083,30586412

7.4. Anexo D – Fotografía del vehículo del Centro de Distribución.



7.5. Anexo E – Importación de datos de Excel a Mathematica.

Para la importación de datos se necesita de la función Import, tal como se puede observar en la imagen.

La codificación que le sigue, es para la extracción de cada para de la tabla que se genera al importar la hoja de cálculo de Excel.

```

In[54]= (*Importación de Datos*)
        DATA = Import["P:DATA.xlsx"];

(*Creación de la data necesaria para el problema*)
nodos = {};
For[i = 2, i ≤ 65, i++,
  nodos = Append[nodos, {DATA[[1]][[i]][[1]], DATA[[1]][[i]][[2]]}];
];

PosicionX = {};
For[i = 2, i ≤ 65, i++,
  PosicionX = Append[PosicionX, DATA[[1]][[i]][[1]]];
];

PosicionY = {};
For[i = 2, i ≤ 65, i++,
  PosicionY = Append[PosicionY, DATA[[1]][[i]][[2]]];
];

tinicial = {};
For[i = 2, i ≤ 65, i++,
  tinicial = Append[tinicial, DATA[[1]][[i]][[3]]];
];

tfinal = {};
For[i = 2, i ≤ 65, i++,
  tfinal = Append[tfinal, DATA[[1]][[i]][[4]]];
];

```