

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN  
LOGÍSTICA”**

**TEMA:**

**ASIGNACIÓN DE RUTAS DE ABASTECIMIENTO MEDIANTE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE HEURÍSTICA, PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DE RECURSOS DE UNA EMPRESA COMERCIAL**

**AUTOR:**

**ING. GABRIEL ARTURO RIERA MONTENEGRO**

**Guayaquil - Ecuador**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa e hija, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su misericordia, por darme cada día una oportunidad para aprender,  
llenarme de conocimiento y experiencia.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



---

Gabriel Arturo Riera Montenegro

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

M.Sc. Heydi Roa López


PRESIDENTE



---

M.Sc. Pedro Ramos De Santis

DIRECTOR

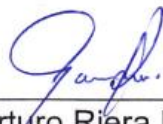


---

M.Sc. Víctor Vega Chica

VOCAL

## **AUTOR DEL PROYECTO**



---

Gabriel Arturo Riera Montenegro

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES. ....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN. ....	3
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.6. METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO 2 .....	6
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....	6
2.1. MARCO TEÓRICO.....	6
2.2. ESTADO DEL ARTE .....	7
2.2.1. EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (VRP) .....	7
2.2.2. EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON LIMITACIÓN DE CAPACIDADES Y FLOTA HOMOGÉNEA. (CVRP-HF).....	8
2.2.3. MÉTODOS DE SOLUCIÓN .....	10
2.2.4. MÉTODO DE BARRIDO.....	11
2.2.5. MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO .....	12
2.2.6. PSEUDO CÓDIGO MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO.....	14
CAPÍTULO 3 .....	17
SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	17
3.1. MODELO DE OPERACIÓN.....	18
3.2. ASIGNACIÓN DE RUTAS .....	20
3.3. PREPARACIÓN DE PEDIDOS. ....	23
3.4. PUNTOS DE VENTA.....	24
3.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE VENTA.....	24
CAPÍTULO 4 .....	26

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MEJORAS .....	26
4.1. DISEÑO DE PLAN DE MEJORA.....	26
4.2. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS .....	30
4.2.1. IMPLEMENTACIÓN DE HEURÍSTICA PARA EL PROBLEMA DE RUTEO CON CAPACIDADES.....	32
4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO.....	33
4.2.3. DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA .....	36
4.2.4. FORMULACIÓN MATEMÁTICA .....	36
4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO. ...	38
4.3.1 INTERFAZ DE USUARIO .....	40
4.4. RESULTADOS OBTENIDOS .....	42
4.5. Recursos computacionales y eficiencia del algoritmo .....	49
CAPÍTULO 5 .....	50
5.1. CONCLUSIONES .....	50
5.2. RECOMENDACIONES.....	52
Bibliografía .....	54
ANEXOS .....	56
Anexo 1. Organigrama de la empresa de estudio .....	56
Anexo 2. Visión, misión y Objetivos generales. ....	57
Anexo 3. Características de máquinas expendedoras .....	58
Anexo 4. Modelos de dispensadores automáticos de bebidas. ....	59
Anexo 5. Código heurística sentido anti horario. ....	60
Anexo 6. Código Heurística sentido horario. ....	64



## FIGURAS

Figura 1.2. Diagrama de Ishikawa (Autor).....	02
Figura 1.6. Flujograma de metodología (Autor).....	05
Figura 2.2. Método de barrido modificado (Askin Ronald, n.d.).....	13
Figura 3. Flujo y movimiento de stock. (Autor).....	18
Figura 3.1. Organigrama departamento de operaciones. (Empresa de estudio).....	18
Figura 4. Enfoque de objetivos de mejora. (Autor).....	26
Figura 4.1. Cadena de valor de una empresa (M. Porter).....	27
Figura 4.1.1. Análisis de valor agregado (Autor).....	28
Figura 4.1.2. Diagrama causa y efecto (Autor).....	29
Figura 4.1.3. Diseño de plan de mejoras. (Autor).....	29
Figura 4.2. Flujograma del proceso para el cumplimiento de rutas. (Autor)....	30
Figura 4.2.2. Implementación del algoritmo en sentido contrario a manecillas de reloj. (Askin Ronald, n.d.).....	35
Figura 4.2.3. Recorrido de puntos en sentido horario. (Askin Ronald, n.d.)....	35
Figura 4.3. Diagrama de flujo del método. (Autor).....	39
Figura 4.3.1 Pantalla de inicio de aplicativo (Autor).....	40
Figura 4.3.2 Formulario de ingreso de datos (Autor).....	41
Figura 4.3.3. Listado de rutas generadas. (Autor).....	41
Figura 5.1 Rutas generadas. (Autor).....	52
Figura 5.2. Distancia entre dos puntos (Autor).....	53

## TABLAS

Tabla 3.3. Matriz de distancias (Empresa de estudio).....	20
Tabla 3.4. Secuencia de visitas de servicio (Autor).....	21
Tabla 3.5. Asignación de Rutas (Empresa de estudio).....	21
Tabla 4.1. Hoja de control de ruta. (Autor).....	31
Tabla 4.2. Hoja de pedido y abastecimientos. (Autor).....	31
Tabla 4.4.1. Rutas generadas por la heurística con sus capacidades. (Autor).....	42
Tabla 4.4.2. Rutas formadas al ejecutar heurística en sentido anti horario (Autor).....	43
Tabla 4.4.3. Rutas formadas al ejecutar heurística en sentido horario. (Autor).....	45
Tabla 5.1.1. Cantidades diarias de pedido por ruta. (Autor).....	50

## GRÁFICOS

Gráfico 3.2. Reporte de quejas (Fuente: Empresa de estudio).....	22
Gráfico 4.4. Histograma de resultados obtenidos por rutas. (Autor).....	42
Gráfico 4.4.1. Ruta1 (Autor).....	47
Gráfico 4.4.2. Ruta 2 (Autor).....	48
Gráfico 4.4.3. Ruta 3 (Autor).....	48
Gráfico 5.1.1. Cantidades abastecidas diarias. (Empresa de estudio).....	51

## **PRESENTACIÓN**

Las empresas que están dentro del sector económico del retail están especializadas en la venta masiva de productos o servicios a una gran cantidad de clientes; debido a esto, las operaciones diarias producen datos e información tal que pueden resultar abrumador, ocasionando dificultad para la toma de decisiones en la operación diaria.

El presente proyecto se enmarca en un estudio explicativo, en el cual buscará un procedimiento para la asignación de rutas de abastecimiento, de manera que se optimicen los recursos, satisfaga la demanda diaria de los clientes y sirva para solucionar los problemas que puedan presentarse en el departamento de operaciones y abastecimiento de la empresa en mención. Se encontrará una buena solución para el problema de abastecimiento y asignación de recursos de personal y vehículos.

Finalmente, con este proyecto se podrá determinar una guía para la asignación de rutas en empresas del sector comercial donde no exista un procedimiento establecido.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES.**

En varios estudios se han desarrollado modelos matemáticos añadiendo variables al problema del agente viajero TSP; como son, ventanas de tiempo, capacidades, inventarios. En este caso se hará énfasis en el problema de ruteo de vehículos con capacidades CVRP, para lo cual se tienen diferentes métodos de solución con su respectiva formulación matemática. No obstante, para este tipo de problemas se manejan una gran cantidad de datos, y la mayoría de las veces, no es posible obtener un resultado óptimo, sino un segundo óptimo o la mejor solución posible, de tal manera que para resolver este tipo de problemas se aplican algoritmos y heurísticas. Entre estas heurísticas se tiene las heurísticas clásicas para resolver el problema de ruteo de vehículos VRP, y son:

- El algoritmo de ahorros, versión en secuencia y en paralela.
- El algoritmo de ahorro basado en matching, donde un matching es un conjunto de arcos que no tienen extremos en común.
- Heurísticas de inserción en secuencia y en paralelo.

Sin embargo, por las características que predominan en el problema que se quiere solucionar se considerará el método asignar primero – rutear después. Estos métodos proceden en dos fases: se busca generar grupos de clientes, luego para cada grupo o clusters se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa cuidando que la demanda total de cada grupo no supere la capacidad del vehículo. Dentro de este método están las heurísticas de barrido, heurística de asignación generalizada, y heurística de localización. (Olivera, 2004)

En el mercado existen algunas aplicaciones gratuitas para la asignación de rutas, como por ejemplo ROUTE XL, ActiRuta, que no contempla las capacidades de los vehículos ni demandas de los clientes, lo que implica que solo está basado en el modelo matemático del problema del agente viaje o TSP, por este motivo no son una herramienta completa que ayuden a la toma de decisiones dentro de empresas del sector comercial, ya que tienen un límite del número de direcciones a consultar en modalidad de libre acceso.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Para el planteamiento del problema se desarrolla el diagrama de Ishikawa. En la figura 1.2 muestra que una de las tareas que comúnmente no tienen un proceso definido en la operación de las empresas comerciales, es la asignación de rutas de abastecimiento para los diferentes puntos de venta, la misma que debe ser óptima contemplando la mayor cantidad de variables posibles.

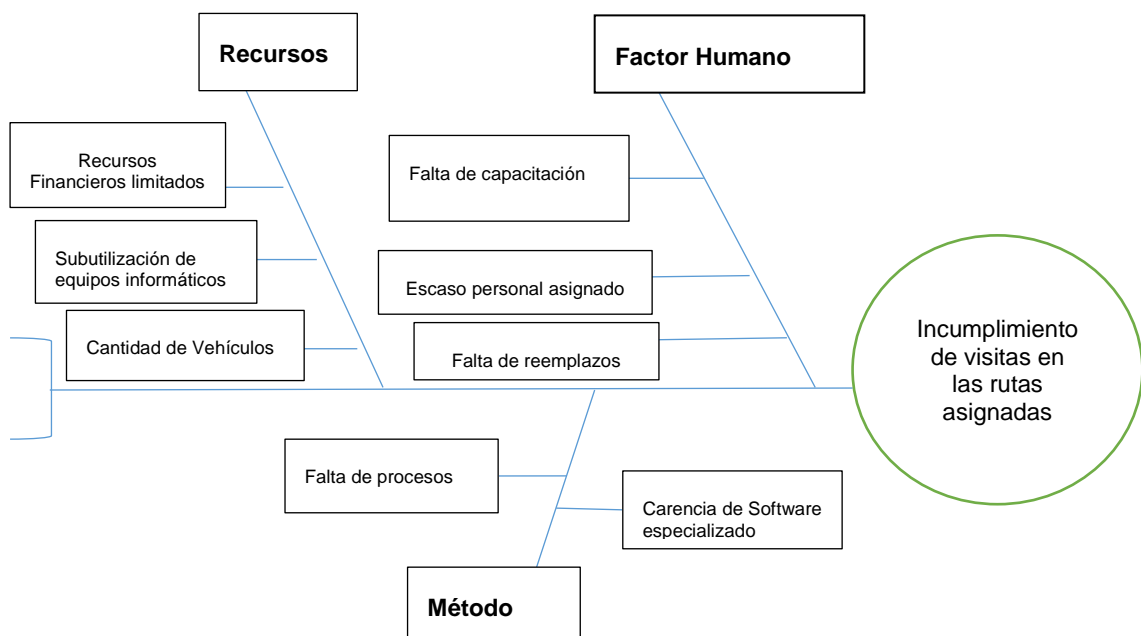


Figura 1.2. Diagrama de Ishikawa (Autor)

La falta de cumplimiento en la asignación de rutas, se debe a los siguientes factores:

- Factor humano: por falta de experiencia y capacitación del personal encargado, deficiente número de personal para atender a los clientes.
- Recursos: no se define el número óptimo de vehículos para cumplir con la demanda, por lo tanto no se aprovisiona el financiamiento para la obtención de vehículos y de personal, subutilización de equipos informáticos para realizar la tarea.
- Método: falta de procedimientos claros para la asignación de rutas, y carencia de un software especializado para la realización de la tarea.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

En la empresa de estudio, el proceso de asignación de rutas está basado en la experticia del personal encargado, en ocasiones se pueden generar problemas operativos y reclamos de los clientes por inconformidad en el servicio.

Se enuncian algunos problemas generados en el transcurso del tiempo en que la empresa se ha desenvuelto en el mercado:

- No se consideran las capacidades de los vehículos al momento de la preparación de pedidos diarios “picking”.
- Los recursos como vehículos y personal para dar servicio al cliente no son asignados conforme los requerimientos de la operación.

Por lo tanto, se considerarán las variables que más incidencia tienen para la empresa, como son: capacidad de vehículos, requerimiento de personal y demanda de los puntos de venta; con la finalidad de disminuir los reclamos que se registran por los motivos anteriormente expuestos.

## **1.4. OBJETIVO GENERAL**

- Maximizar la rentabilidad de la compañía, mediante la implementación de una heurística, estructurando un proceso para la asignación de rutas de abastecimiento.

## **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar Microsoft Excel VBA para la asignación de rutas, contemplando la capacidad de los vehículos en una flota homogénea y las demandas semanales de los puntos de venta.
- Determinar la cantidad óptima de vehículos necesarios para cumplir con el nivel requerido de servicio según las políticas de la empresa.
- Definir la cantidad óptima de pedido diario para cada ruta.
- Analizar si los resultados de la heurística se ajustan a la instancia real.

## **1.6. METODOLOGÍA**

Se implementará una heurística para resolver el problema de ruteo de vehículos con capacidades (CVRP) y se analizará si la heurística se ajusta a la instancia real; como función objetivo se considerará en la maximización de la rentabilidad.

Se buscará satisfacer la demanda en cada viaje o ruta.

La frecuencia de visitas de abastecimiento se divide en un conjunto discreto de todos los días.

Al mismo tiempo se optimizará la ruta, se destinará una mayor cantidad de producto según su rotación; es decir, se considerará la demanda de cada punto de venta al momento del despacho del pedido diario. (Askin Ronald, n.d.)

Los pasos a seguir para la realización de este proyecto son los siguientes:



- Análisis de la situación actual de la empresa.
- Diagnóstico de la situación de la empresa
- Identificación y selección de las oportunidades de mejora.
- Diseño plan de mejoras
- Implementación de mejoras.
- Análisis y reconocimiento de resultados obtenidos.

El flujograma de la metodología figura 1.6 muestra una visión panorámica del proceso para la solución del problema planteado, en el que se parte realizando un análisis de la situación actual del problema, que permite un diseño de la posible mejora y su implementación. Una vez implementada y ejecutada la mejora se evalúan los resultados obtenidos con respecto a la situación actual.

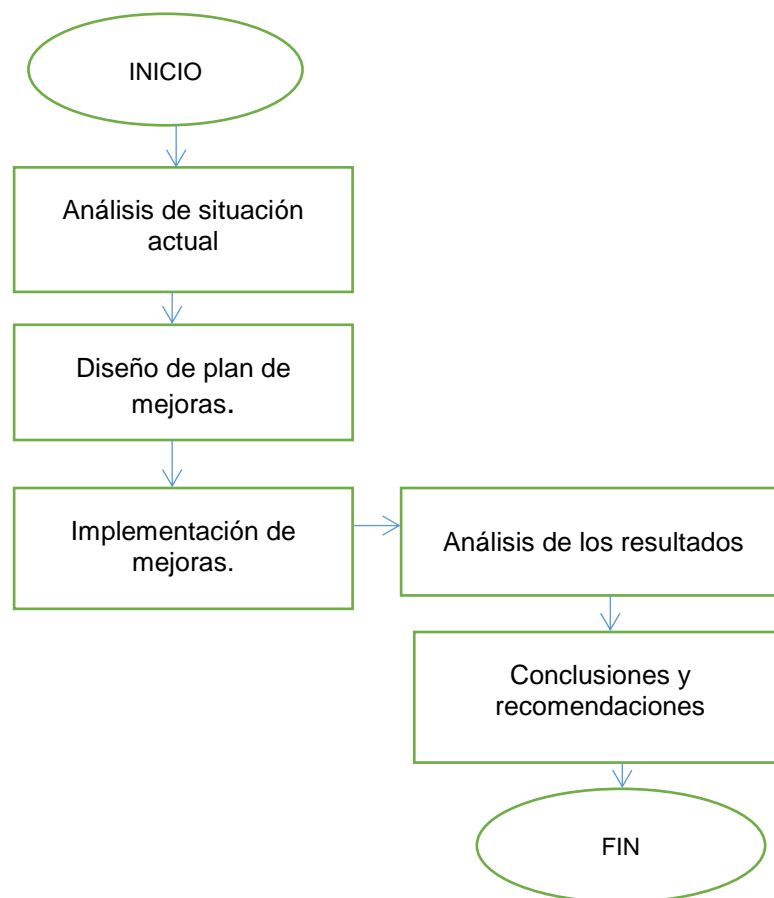


Figura 1.6. Flujograma de metodología (Autor)

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1. MARCO TEÓRICO**

Para la solución de problemas de asignación de rutas existen varios métodos que han sido estudiados y revisados por investigadores de operaciones. De esta forma, existe la particularidad que para cada escenario, se tienen varias opciones de solución según los requerimientos y exigencias de cada problema. A grandes rasgos se puede concluir que el problema de ruteo de vehículos consiste en un conjunto de clientes, depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos para el cual se quiere determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez.

“El problema del ruteo de vehículos fue introducido por primera vez en 1959 por Dantzig y Ramser, para la solución real de entregas de gasolina a estaciones de servicio proponiendo una formulación matemática. Años después, Clarke y Wright plantearon el primer algoritmo para resolverlo”. (Mario Daza Julio, Montoya Jairo, 2009)

Dentro de esta definición se encuentran los problemas de ruteo de vehículos VRP, los cuales se derivan según su complejidad en problemas donde se consideran diferentes variables como son: ventanas de tiempo, demanda de clientes, capacidades de vehículos, número de vehículos, características de la flota, inventarios.

Según la complejidad del problema de ruteo, para su solución existen algoritmos exactos, en la que siempre su solución es la óptima y los algoritmos no exactos donde se busca una buena solución para problemas muy grandes. Para la solución de problemas no exactos, se pueden aplicar heurísticas, que

son métodos exploratorios que buscan una solución lo más cercana al óptimo. (Cordeau, Laporte, Savelsbergh, & Vigo, 2007)

## **2.2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.2.1. EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (VRP)**

Los problemas VRP parten del problema del agente viajero (TSP), que es el planteamiento básico y situación general para la formulación de problemas más complejos. En el TSP se dispone de un solo vehículo, que visita todos los nodos o clientes, en una sola ruta a un costo mínimo y no se tienen depósitos y en caso de existir no se distingue de los clientes. La formulación matemática, mediante programación lineal entera (PLE) de este problema es la que sigue:

$$(2.1) \text{Min} \sum_{ij} c_{ij} x_{ij}$$

**Sujeto a:**

$$(2.2) \sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in V$$

$$(2.3) \sum_i x_{ij} = 1, \forall j \in V$$

$$(2.4) \sum_{ij} x_{ij} \geq 1, \forall S \subset V$$

$$(2.5) x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in E$$

La restricción (2.1) es la función objetivo, que minimiza el costo total de transporte, sumando las contribuciones de cada arco (i, j). La restricción (2.2), indica que se puede llegar a un nodo desde un solo nodo anterior, la restricción (2.3), indica que desde un nodo se pueda pasar a otro único nodo. La restricción (2.4), evita los sub tours y la restricción (2.5) establece los valores admisibles para las variables de decisión. (Clarke y Wright, 1964)

Del TSP se desprende el problema de  $m$  agentes viajeros, (m-TSP), en el cual se tiene un depósito y  $m$  vehículos o agentes. Se trata de formar una ruta por cada vehículo, que tiene que visitar una sola vez a cada cliente. Cada ruta debe empezar y terminar en el depósito. (Miller, Tucker y Zemlin, 1960)

### **2.2.2. EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON LIMITACIÓN DE CAPACIDADES Y FLOTA HOMOGÉNEA. (CVRP-HF)**

El problema CVRP es de complejidad NP-completo. Esto es así, porque el número de posibles soluciones crece exponencialmente con el número de nodos del grafo (clientes o puntos de paso), sobrepasando las capacidades de cálculo de los computadores actuales. Los problemas de hasta 50 clientes pueden ser resueltos mediante métodos y formulaciones exactas, sin embargo, los problemas de mayor complejidad sólo pueden ser resueltos de manera óptima en algunos casos, dada su gran complejidad numérica. Su aplicación es de gran importancia para la resolución de problemas reales en las Operaciones y Logística, por ejemplo:

- Problemas de preparación de pedidos en un almacén (picking).
- Rutas de vehículos, planificación de transporte urbano, planificación de recogida de residuos o de aprovisionamiento, problemas de reparto o distribución.
- Sistemas de navegación GPS.
- Planificación de movimientos de robots, vehículos autoguiados (AGV), etc. (Rodríguez. A, 2010).

El CVRP-HF, se puede definir como una extensión del m-TSP, dado un grafo  $G = (V, E)$ , donde  $V$  es el conjunto de nodos y  $E$  es el conjunto de arcos que lo conectan, relacionados con la matriz de costos  $C$  de tamaño  $N \times N$ .  $D$  es un

arreglo de la forma  $(p_i)$ , que especifica la demanda de cada cliente.  $F$  es un arreglo  $(P_k)$  con datos de la capacidad de los  $M$  vehículos, es decir,  $1 \leq k \leq M$ . El problema tiene como objetivo encontrar la matriz  $X = (X_{ijk})$  de tamaño  $N \times N \times M$  donde las variables binarias  $X_{ijk}$  indican si el arco  $ij$  se utiliza en la solución para ser visitado por  $k$ . El problema PLE:

$$(2.2.1) \text{ Min } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M C_{ijk} x_{ijk}$$

Sujeto a:

$$(2.2.2) \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq M, \quad i = 0$$

$$(2.2.3) \sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in [1, N]$$

$$(2.2.4) \sum_{j=1}^N x_{ijk} = \sum_{i=1}^N x_{ijk}, \quad \forall k \in \{1, M\}, i = 0$$

$$(2.2.5) \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_i x_{ijk} \leq P_k, \quad \forall k \in \{1, M\}$$

$$(2.2.6) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq (V - \{0\}), |S| \geq 2, k \in \{1, M\}$$

$$(2.2.7) x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall ij \in [1, N], \forall k \in \{1, M\}$$

La ecuación (2.2.1) es la función objetivo la misma que busca minimizar el costo total de transporte, sumando las contribuciones de los arcos.

La restricción (2.2.2), indica que del centro de distribución deben partir hasta M vehículos. Las restricciones (2.2.3) y (2.2.4), garantizan que un vehículo salga y visite a cada cliente, formando por cada ruta un TSP. Las ecuaciones (2.2.5), muestran la capacidad vehicular en términos de peso, según Dantzig y Ramser (1959) se debe determinar el conjunto  $\pi$  que no sobrepase  $p_k$ , se denomina problema de empaquetamiento en compartimentos (BPP). Por último la restricción (2.2.6), establece la inexistencia de subrutas inconexas y la restricción (2.2.7), indica los valores admisibles para las variables de decisión. (Mario Daza Julio, Montoya Jairo, 2009)

### **2.2.3. MÉTODOS DE SOLUCIÓN**

Para la solución de problemas no exactos, es decir que por su tamaño y cantidad de elementos no es posible resolver por programación lineal entera, existen algoritmos heurísticas, que pueden dar una buena solución en un tiempo razonable, para la mayoría de problemas. Los métodos heurísticos para VRP pueden ser clasificados en:

- Constructivas, que se basan en el ahorro de insertar cada cliente en el vehículo asignado hasta encontrar una solución final. (Clarke & Wright)
- Agrupar primero, luego enrutar; consiste en agrupar clientes en subconjuntos, se asignan los vehículos a cada subconjunto y se resuelven los TSP de cada cluster o subconjunto. Por ejemplo el método de Fisher y Jaikumar y el algoritmo de barrido de Gillet y Miller.
- Métodos de enrutar primero, luego agrupar; que empiezan resolviendo los TSP correspondientes y luego se asigna un tramo de la ruta hallada a cada vehículo. El método de Bowerman, Calamai y Brenthall y el método de partición óptima de Beasley.
- Y Métodos de mejoramiento, como los métodos de intercambios Or-opt.

Revisando las diferentes técnicas de solución, y dada la complejidad del problema, ya que la red tiene más de 60 nodos que pueden ser incrementados

a lo largo del tiempo, se utilizará una heurística que está dentro de la clasificación de agrupar primero y enrutar después, específicamente el método de barrido modificado.

“La evidencia indica que el método de barrido modificado, para resolver el problema de enrutamiento de vehículos; es computacionalmente eficiente y produce una diferencia media óptima de alrededor del 10 por ciento”. Esta brecha puede ser aceptable ya que los resultados deben ser obtenidos en el corto plazo y son buenas soluciones en oposición a los óptimos. (Askin Ronald, n.d.)

#### **2.2.4. MÉTODO DE BARRIDO.**

A grandes rasgos el método de barrido se puede explicar de manera que se pase una recta en el plano cartesiano en sentido horario y los puntos o nodos que tengan el ángulo menor se van añadiendo a la ruta hasta que sobrepase la capacidad del vehículo, en ese punto empezaría otra ruta. Este algoritmo pertenece al conjunto heurístico de dos fases, agrupar primero y asignar después, este orden en particular da mejores resultados, que el orden asignar primero y agrupar después. Las distancias pueden ser medidas por una métrica euclídea, algunas veces esta métrica produce que se disminuyan las distancias reales en la red, cada cliente o nodo a visitarse se expresa en coordenadas polares  $(r, \Theta)$ , con el almacén situado en el origen de coordenadas y un cliente cualquiera  $i=2$ , fijando junto al almacén el origen de los ángulos donde los ángulos están ordenados de menor a mayor.

A continuación se detalla el pseudocódigo:

Paso 1: se toma un vehículo  $k$  que no está en uso.

Paso 2: se empieza con el cliente  $i$  que no ha sido asignado a ruta y posee menor medida de ángulo  $\Theta$ , se deben incluir los siguientes clientes  $i+1, i+2, \dots$ , etc., en la ruta  $k$ , mientras no se supere la capacidad  $C_k$  del vehículo.

Paso 3: si se han barrido todos los clientes o utilizado todos los vehículos ir al paso 4, caso contrario al paso 1.

Paso 4: conectar todos los clientes dentro de cada sector circular, empezando y finalizando por el almacén.

La solución de este método depende del cliente escogido para empezar a barrer y del orden de asignación de los vehículos. (Francesc Robusté A, 2005)

### **2.2.5. MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO**

A diferencia del método de barrido sencillo, el método de barrido modificado obtiene una mejor solución debido a que se modifica el método de barrido sencillo, teniendo en cuenta las características específicas de este problema:

Optimizar el recorrido de ruta después de la inserción de un nuevo minorista.

Optimizar la frecuencia de enrutamiento dentro de una ruta.

Se inicia a partir de cada minorista.

Y barrer tanto en sentido horario y anti horario.

Los procedimientos del método de barrido modificado son los siguientes:

1. Se ubica el Centro de Distribución u origen y todos los minoristas en un mapa o cuadrícula.

2. Se debe extender una línea recta desde el origen en cualquier dirección. Rotar la línea hacia la derecha hasta que se cruce con un minorista.

Para el primer minorista de la línea que se cruza, construir una ruta individual de este minorista. Como se muestra en la figura 2.2 a continuación:



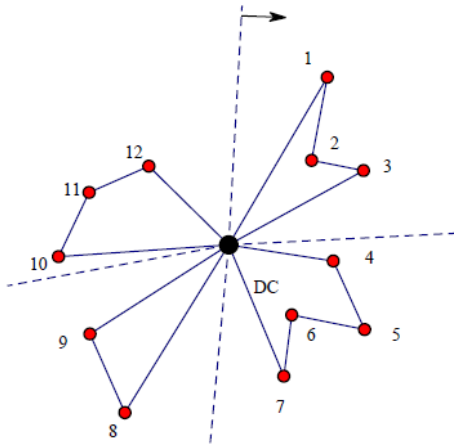


Figura 2.2. Método de barrido modificado (Askin Ronald, n.d.)

3. Se sigue girando la línea hasta que se alcance al próximo minorista, se introduce una nueva tienda en la ruta utilizando el método de inserción más cercana y se debe tratar de mejorar la nueva ruta por el método del 2- óptimo. Después de incluir la nueva tienda y decidir la nueva ruta óptima en la ruta actual, se validan todas las restricciones y se vuelve a calcular la frecuencia óptima de enrutamiento y el costo total.

4. Si la adición de la nueva tienda de ruta actual puede reducir el costo total y todas las restricciones son respetadas, se añade esta ruta al minorista actual; de lo contrario, se debe crear una nueva ruta para el nuevo cliente.

5. Se continúa hasta que se asignan todos los minoristas.

En el paso 4, después de revisar todas las restricciones cuando se va a añadir al próximo minorista, dos casos deberán ser comparados para finalmente decidir si se añade este nuevo minorista o no: uno es añadir este nuevo minorista resultando en una ruta más larga, la otra es una nueva ruta individual para este minorista:

CR: costo de ruteo por viaje.

CI: costo de carga

CRI: costo total

f: frecuencia óptima

$\gamma$ : ruta previa

$i$ : nuevo minorista

$\gamma+i$ : ruta larga después de añadir al minorista  $i$

CASO 1:  $CRI(\gamma+i) = CR(\gamma+i) f(\gamma+i) + CI(\gamma+i)$

CASO 2:  $CRI_{\gamma} + CRI_i = CR_{\gamma} f_{\gamma} + CR_i f_i + CI_{\gamma} + CI_i$

Si se desea añadir el minorista  $i$  para la ruta anterior depende del valor de estos dos casos, el que tenga el valor más pequeño es la solución.

El procedimiento indicado anteriormente se inicia con la rotación en un lugar al azar de los minoristas, supongamos que se rota la línea hacia la derecha en la figura 2.2 anterior, a continuación, el minorista de la izquierda (minorista 12) estará en una ruta diferente del minorista 1, casi con certeza, pero podría ser mejor agrupar estos dos minoristas.

Para resolver este problema, se va a hacer el barrido en tiempo algorítmico  $2N$ , donde  $N$  es el número de minoristas. Se utiliza un minorista diferente como los puntos de partida de rotación, se hace el barrido en ambos sentidos para cada punto de partida, a continuación, se elige la mejor solución entre estas soluciones  $2N$  como la solución final.

### **2.2.6. PSEUDO CÓDIGO MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO**

El pseudocódigo se considera una descripción de un algoritmo que resulta independiente de otros lenguajes de programación. Para que una persona pueda leer e interpretar el código en cuestión, se excluyen diversos datos que no son clave para su entendimiento.

Por lo tanto, un pseudocódigo se emplea cuando se desea describir un algoritmo sin la necesidad de difundir sus principios básicos. De esta manera, una persona encontrará mayores facilidades para comprender el mensaje, a

diferencia de lo que ocurriría si estuviese frente a un lenguaje de programación real.

Para llevar a cabo un pseudocódigo se deberá tener una estructura compuesta por las siguientes partes:

Una cabecera, que debe comprender cinco áreas: el programa, el módulo, los tipos de datos, las constantes y las variables.

El cuerpo se divide en inicio, instrucciones y fin.

Además se debe establecer que:

El pseudocódigo se deberá ejecutar en cualquier computadora.

El pseudocódigo es independiente del lenguaje de programación que se vaya a usar.

En conclusión, los pseudocódigos son utilizados como bocetos antes de proceder a la programación.

En este algoritmo, cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre nodos, están definidas como distancias euclidianas. Cada cliente  $i$  está dado por sus coordenadas  $(p_i, \Theta_i)$  y el depósito se encuentra en el origen.

Los datos para la heurística se recopilan de la información proporcionada de la empresa de estudio y las coordenadas de la página web coordenadas-GPS de google.

Se aplica el procedimiento del método de barrido modificado, a continuación se detalla el pseudocódigo del problema.

**Pseudocódigo:**

Para cada distribuidor  $i$ : Se selecciona un punto de partida, se extiende una línea recta desde el centro de distribución (CD) al minorista  $i$ :

Se gira hacia la derecha de esta línea (y hacia la izquierda) hasta que se inserta un minorista  $j$ .

Si la adición del minorista  $j$  viola la restricción de la ruta actual de la capacidad del camión:

Iniciar una nueva ruta;  
Entonces,  
Inserte un minorista  $j$  para la ruta actual, y el uso de 2 - óptimo para mejorar el enrutamiento,  
Si la distancia de recorrido ha mejorado y viola la restricción de distancia de enrutamiento:  
Entonces,  
Iniciar una nueva ruta  
Si en el uso de rutas separadas, el costo total es menor:  
Iniciar una nueva ruta;  
Entonces,  
Inserte minorista  $j$  a ruta actual;  
Termina si  
Termina si  
Termina si

Se registra el costo total si se utiliza el minorista  $i$  como punto de partida.

Se compara y selecciona el menor costo y se utiliza como la solución final.  
(Askin Ronald, n.d.)

Por lo tanto, se debe iniciar en el punto con menor ángulo con respecto al origen y luego girar una recta en sentido anti horario, de tal manera que cada cluster sea formado por los clientes que se van añadiendo hasta romper la restricción de capacidad del vehículo. Luego se procede a realizar el mismo procedimiento pero en sentido contrario. Una vez obtenidos los resultados de estos dos procedimientos, se deben analizar las rutas que generen la mejor utilidad posible.

## **CAPÍTULO 3**

### **SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

La empresa de estudio, se dedica a la venta de bebidas refrescantes mediante máquinas expendedoras, con menos de 10 años de haber sido fundada, pertenece a un grupo de empresas de servicios de alimentación del Ecuador, siendo una de las divisiones más nuevas en este grupo que ejerce operaciones en las ciudades de Quito y Guayaquil; su sucursal principal se encuentra en Quito. Ver anexo 1.

Las máquinas expendedoras son importadas de Italia, de una empresa líder mundial en la comercialización de este producto, es decir, ejerce un papel de capital de importancia en este mercado. La empresa de estudio, tiene la exclusividad de operación en Ecuador. En este proyecto solo se consideran los datos de la ciudad de Guayaquil.

En la operación de esta empresa, se han identificado algunos problemas, los cuales se generan por diferentes variables dentro de la cadena de abastecimiento (SCM). En este caso se hará énfasis en la asignación de rutas para el abastecimiento de los dispensadores, ya que no existe una metodología para la asignación de rutas de abastecimiento

Los procesos para abastecimiento, carga y mantenimiento de los dispensadores están definidos en el flujo de stock de la figura 3, se muestra el flujo de stock y comportamiento de los procesos internos de aprovisionamiento, almacenamiento y distribución de los productos que se comercializan, de la empresa en estudio, con respecto a la cadena de abastecimiento. Las compras son centralizadas para aprovechar economías de escala.

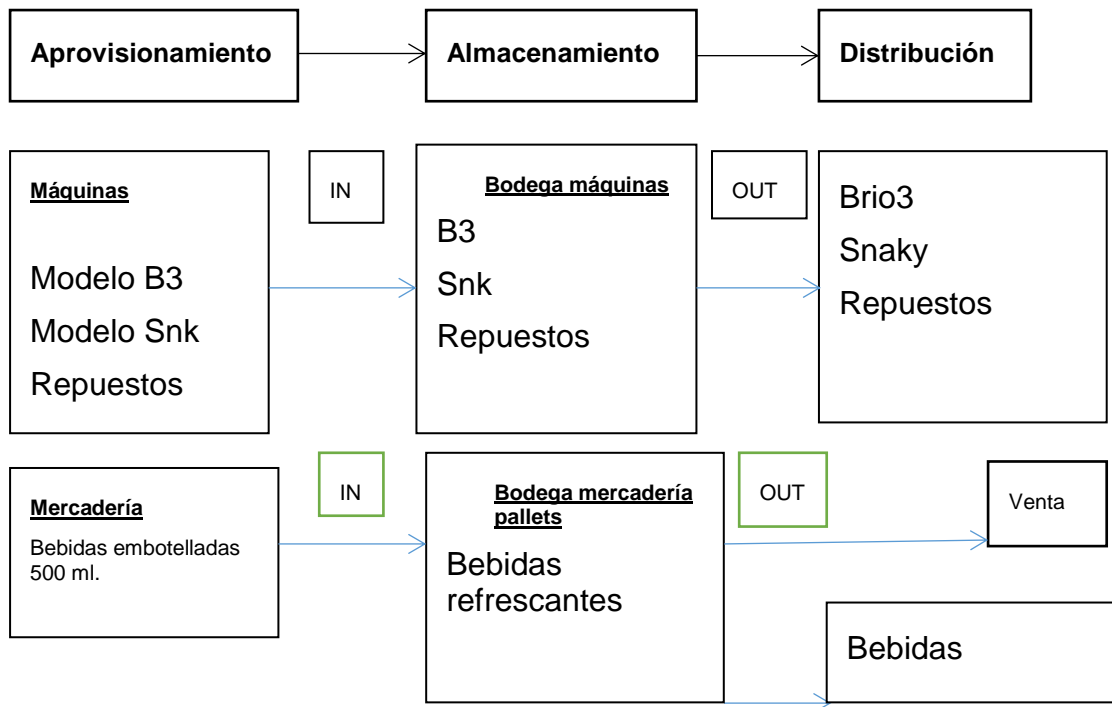


Figura 3. Flujo y movimiento de stock. (Autor)

Cabe recalcar que la empresa de estudio no vende los dispensadores, sino que presta el servicio a clientes empresariales y grandes superficies como hospitales, terminales y empresas con un gran número de empleados y alta afluencia de posibles clientes; haciéndose cargo de toda la operación.

### 3.1. MODELO DE OPERACIÓN

El departamento operativo está conformado por un jefe operativo, un asistente de operaciones, un bodeguero, 2 operarios senior y 3 operarios junior, con sus funciones básicas establecidas:

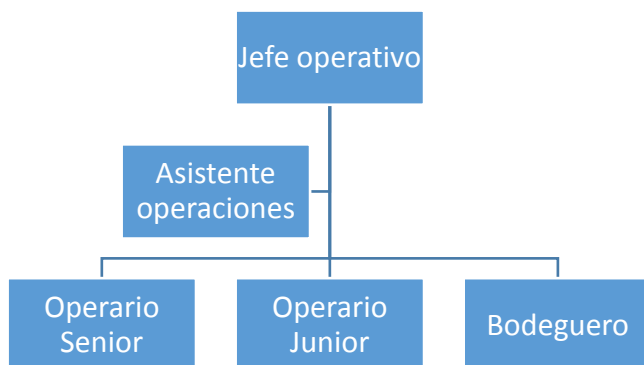


Figura 3.1. Organigrama departamento de operaciones. (Fuente: Empresa de estudio)

Se cuenta con vehículos tipo Van de carga útil de 720 kg o 1000 unidades volumétricas según datos obtenidos de la empresa de estudio; no existe una política para la adquisición de los vehículos que son utilizados para abastecimientos, tampoco una metodología para determinar el número de vehículos que se necesitan, solo se considera la adquisición de un vehículo adicional, cuando existen problemas con el servicio debido a desabastecimientos, reclamos de clientes por demora en la solución de problemas frecuentes. Por este motivo muchas de las veces, esto no se refleja en los indicadores mensuales, lo que ocasiona rendimientos decrecientes, ya que los dispensadores pueden estar fuera de servicio varios días, hasta que se logre visitar el punto de venta.

El tiempo promedio de abastecer un dispensador es de 15 minutos entre dos operarios. El procedimiento de abastecimiento implica el abastecimiento del punto de venta, toma de pedido diario, limpieza y mantenimiento del equipo.

El modelo de operación que se aplica actualmente es de autoventa acompañada; es decir, el conductor se encarga de cuidar su unidad de carga, velar por el buen estado de la carga y la recaudación de valores. El operario junior o copiloto se encarga del abastecimiento, mantenimiento de los dispensadores y de realizar los pedidos diarios por punto de venta, para así quitarle responsabilidad al chofer, concentrando esfuerzos para el abastecimiento apropiado de la zona a cargo.

Los pedidos diarios; son entregados a bodega al finalizar la ruta junto a las devoluciones. Bodega realiza la preparación de pedidos diarios considerando los pedidos del operario copiloto.

Se utiliza el criterio de retail para la implementación de la exhibición de percha en los dispensadores. La exhibición tiene un orden planificado para el abastecimiento.

La operación vending va de la mano con un frente operativo y una eficiente asignación de rutas considerando todas las variables posibles como

capacidades, volúmenes de venta, costos de combustible, demanda según la adhesión de nuevos clientes y sus restricciones.

### 3.2. ASIGNACIÓN DE RUTAS

En el proceso para la asignación de rutas se considera la menor distancia entre puntos de venta para la toma de decisiones, también se trata de balancear equitativamente la cantidad de dispensadores asignados por ruta.

Para la asignación de rutas se agrupan los clientes por sectores y se entrega a cada chofer el grupo de clientes que corresponde, se trata de encontrar un ciclo de costo mínimo que pase por todos los clientes, una vez por cada uno; partiendo y terminando en la bodega.

Se selecciona un punto de partida, en este caso la bodega.

Se selecciona el cliente más cercano. Luego se selecciona otro cliente que esté más cerca del anterior y así sucesivamente.

KM	CD	OmnIH	LAN	ACC	C. ALB	TERPEL	H. GILBER	ECU911	BCO GYE	C. PANAM	H. UNIV	PROMESA	SABMILLE	P. UNIDAS	UNILEVER	H. GYE	HTMC	HOLCIM
CD	0	2,1	0,8	1,3	2,3	2,9	4,1	6,1	5,9	6,1	12	11	20,6	19	26,2	12	10,1	9,7
OmnIH (3)	2,1	0	4,5	3	2,9	3,9	5,6	9,4	7,3	7,6	11,3	10,6	23,5	21,8	29	15,1	11,5	11,7
LAN (5)	0,8	4,5	0	2	3,5	2,2	3,4	6,1	5,2	5,5	12	11,3	20,2	18,6	25,8	11,1	9,3	8,9
ACC (1)	1,3	3	2	0	1,1	3,9	5,9	7,2	9,3	9,1	11,7	9,9	21,3	19,6	26,8	14,4	11,8	11
C. ALB (1)	2,3	2,9	3,5	1,1	0	4,7	7	8,7	8,8	7	11,1	9,1	15,1	13,5	20,7	14,7	12,9	10,2
TERPEL (1)	2,9	3,9	2,2	3,9	4,7	0	3,1	7,1	4,7	5	12,3	11,5	22,4	20,8	28	10,7	8,9	7,6
H. GILBERT (1)	4,1	5,6	3,4	5,9	7	3,1	0	5,1	4,2	3,9	14,5	13,8	23,7	22,1	29,3	9,1	7,2	7,4
ECU911 (3)	6,1	9,4	6,1	7,2	8,7	7,1	5,1	0	7	6,7	21,8	15,5	22,3	20,7	27,9	13,9	12,1	12,2
BCO GYE (2)	5,9	7,3	5,2	9,3	8,8	4,7	4,2	7	0	0,75	16,6	15,9	24,6	23	30,2	8,3	6,2	6,5
C. PANAM (3)	6,1	7,6	5,5	9,1	7	5	3,9	6,7	0,75	0	16,2	15,5	24,5	22,9	30,1	8,5	6,4	6,8
H. UNIV (6)	12	11,3	12	11,7	11,1	12,3	14,5	21,8	16,6	16,2	0	8,6	7,8	6,2	13,4	16,9	26,6	13,5
PROMESA (1)	11	10,6	11,3	9,9	9,1	11,5	13,8	15,5	15,9	15,5	8,6	0	14	12,4	19,6	8,2	11,4	4,8
SABMILLER (9)	20,6	23,5	20,2	21,3	15,1	22,4	23,7	22,3	24,6	24,5	7,8	14	0	0,95	10,2	20,6	31,8	17,2
P. UNIDAS (1)	19	21,8	18,6	19,6	13,5	20,8	22,1	20,7	23	22,9	6,2	12,4	0,95	0	10,8	19,1	30,3	15,7
UNILEVER (10)	26,2	29	25,8	26,8	20,7	28	29,3	27,9	30,2	30,1	13,4	19,6	10,2	10,8	0	29	40,2	25,6
H. GYE (8)	12	15,1	11,1	14,4	14,7	10,7	9,1	13,9	8,3	8,5	16,9	8,2	20,6	19,1	29	0	5,7	4,1
HTMC (9)	10,1	11,5	9,3	11,8	12,9	8,9	7,2	12,1	6,2	6,4	26,6	11,4	31,8	30,3	40,2	5,7	0	11,8
HOLCIM (3)	9,7	11,7	8,9	11	10,2	7,6	7,4	12,2	6,5	6,8	13,5	4,8	17,2	15,7	25,6	4,1	11,8	0

Tabla 3.3. Matriz de distancias (Fuente: Empresa de estudio)

La tabla 3.3 muestra la matriz de distancias, por motivos de visualización se construyen centros de costos, que muestran grupos de puntos de ventas como unidades o clientes, con la finalidad de concentrar las máquinas donde las distancias entre ellas sean irrelevantes; es decir, cada centro de costos puede tener varios puntos de venta.



De esta manera se puede observar las rutas que han sido elaboradas de manera manual.

Por lo tanto la ruta más corta se distribuye de la siguiente manera:

RUTA	CD	OMNI	LAN	ACC	CALB	TERPEL	H GILB	ECU	BCO GYE	C PANA	H UNIV	PROME	SABMILL	P UNID	UNILEV	HGYE	HTMC	HOLCIM
ORDEN		4	1	2	3	5	6	17	8	7	13	12	14	15	16	10	9	11

Tabla 3.4. Secuencia de visitas de servicio (Autor)

La tabla 3.4, muestra cómo queda ordenada la ruta siguiendo los puntos más cercanos de manera secuencial. Las limitantes de este método son:

No se conoce cuando termina una ruta y comienza otra, por lo que se forman las rutas de manera intuitiva.

No se consideran las variables de capacidad de vehículos y de los dispensadores.

No se tiene información de las unidades necesarias para la realización de los pedidos diarios, por lo tanto no se sabe con cuántos vehículos se satisface la política de servicio.

Si se adicionan más clientes, se debe realizar todo el proceso nuevamente.

De esta forma se obtienen las rutas que se detallan a continuación:

RUTA1	#MAQ	RUTA2	#MAQ
LAN	5	ECU	3
ACC	1	UNILEV	10
C ALB	1	P UNID	1
OMNI	3	SABMILL	9
TERPEL	1	H UNIV	6
H GILB	1	PROME	1
C PANA	3	HOLCIM	2
BCO GYE	2	H. ARM	5
HTMC	9		
H GYE	8		
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>TOTAL</b>	<b>37</b>
KM	154,45	KM	148,65

Tabla 3.5. Asignación de Rutas (Empresa de estudio)

La tabla 3.5, muestra la asignación de rutas, la cantidad de dispensadores a cargo y sus kilometrajes recorridos.

Se observa que no hay un orden adecuado de visitas para el abastecimiento, ya que muchas de las veces la ruta queda a criterio del conductor del vehículo; al momento de la asignación de rutas no se consideran variables como la capacidad de los vehículos, la cantidad de productos a abastecer, no se cumple la política de frecuencias de abastecimientos como política de servicio de la empresa. En el gráfico 3.2 se muestran las estadísticas de las quejas presentadas semanalmente con sus respectivas categorías.

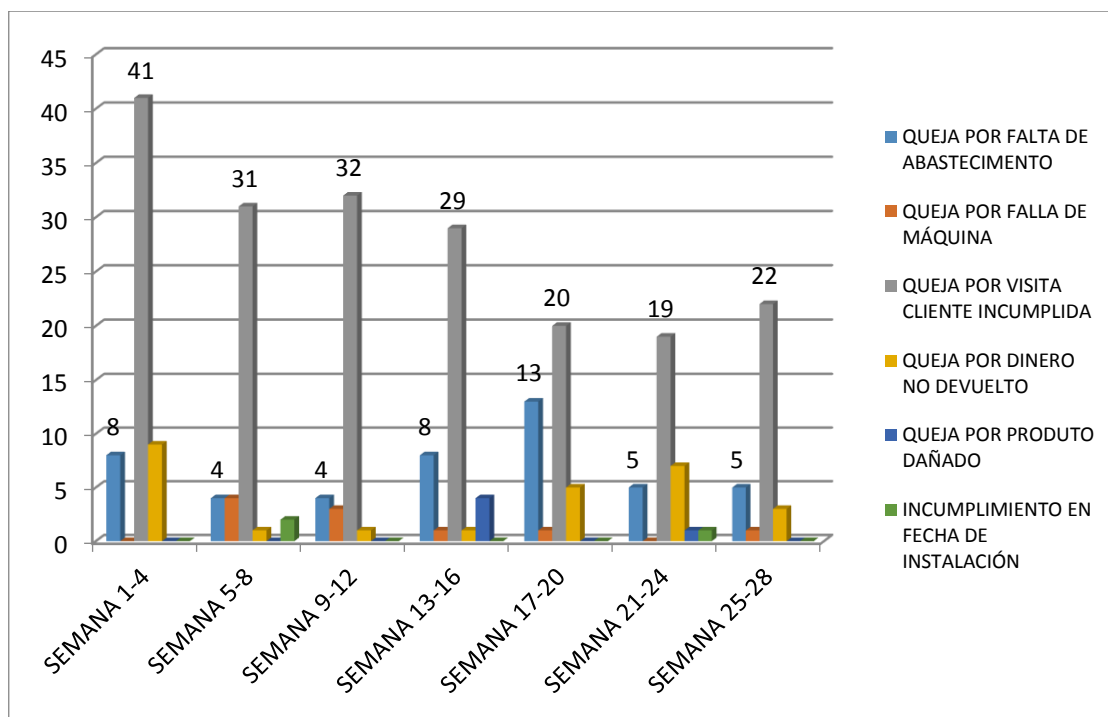


Gráfico 3.2. Reporte de quejas (Fuente: Empresa de estudio)

En el gráfico 3.2, se aprecia que las categorías que más incidencia tienen, son por visita incumplida, falta de abastecimiento y por falla de máquina. La política de servicio comprende la frecuencia diaria de abastecimiento a los dispensadores, debido a la naturaleza del negocio; con la finalidad de disminuir los reclamos de clientes; ya que al ser dispensadores automáticos, la mayor parte del tiempo los equipos están solos y algunos usuarios las bloquean por

mal uso. Por lo tanto, se busca lograr cumplir la política de servicio de la compañía.

### **3.3. PREPARACIÓN DE PEDIDOS.**

Para la preparación de los pedidos se consideran las ventas del periodo anterior, así como los pedidos que los operarios encargados de la ruta realizan verbalmente al personal de bodega. Los pedidos para el abastecimiento de los puntos de venta, se deben armar diariamente.

Con respecto a la documentación para la realización de pedidos, el personal de bodega cuenta con un sistema base en FOX en el que se registran las hojas de abastecimiento diario que llevan los operarios de cada ruta y entregan a bodega al finalizar la jornada. Este sistema puede emitir un informe detallado en Excel de las cantidades de productos que se han abastecido diariamente, kardex e inventarios. Al momento de la entrega del despacho diario a los operarios se emite una tirilla de los productos entregados.

El personal encargado de preparar el pedido diario, en varias ocasiones despacha las cantidades que almacenan los dispensadores programados en la ruta al cien por ciento, debido a que el personal operativo no cumplen con las visitas diarias a los puntos de venta; esto ocasiona que los productos sean devueltos, sufran mermas por manipulación o en su defecto no se consideren necesidades de abastecimiento de los puntos que no han podido ser visitados.

Debido a que los pedidos de productos requeridos para el abastecimiento, son tomados por los operarios un día antes, se utilizará esta información para la actualización de la demanda en la heurística, con la finalidad de que la aplicación sea lo más funcional posible y exista la menor distorsión en la información proporcionada cuando se ingrese los datos y se obtengan los resultados de la misma, para su uso en la preparación de pedidos diarios de cada ruta de abastecimiento.

Una vez que se instala un nuevo punto de venta, se abastece al cien por ciento el punto, según la política de la empresa de estudio.

### **3.4. PUNTOS DE VENTA**

El punto de venta es una unidad de almacenamiento de mercancías que realiza la venta ambulante de los mismos, en una ubicación estacionaria; es por esto la necesidad de ubicarlas en zonas estratégicas donde exista la mayor afluencia de clientes.

Las máquinas expendedoras muestran abiertamente sus mercancías para que los clientes puedan elegir lo que deseen cancelando por su producto, insertando el dinero y extrayéndolo en el momento.

Por lo general este tipo de dispensadores están ubicados en lugares donde el usuario tiene un fácil acceso a ella; de tal manera que el usuario seleccione el producto que está exhibido en la máquina por lo general tras un vidrio transparente o en su defecto con la publicidad del producto que se está ofertando. De tal manera que el usuario ingresa el importe en efectivo para obtener el producto seleccionado.

#### **3.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE VENTA**

- Son abastecidos con bebidas embotelladas, que representan cada una, unidades volumétricas de 500 ml.
- Cuentan con 5 bandejas, cada bandeja tiene de frente 6 espacios y de profundidad 4 unidades. Ver anexo 3.
- Son máquinas automáticas; es decir, el usuario para obtener el producto debe ingresar su dinero y la máquina realiza la transacción completa sin necesidad de intermediario.
- Por lo general exhiben sus productos o en su defecto presentan la publicidad de los productos que expenden. Ver anexo 4.
- Al ser distribuidores automáticos, pasan la mayor parte del tiempo solas.

- Poseen un mecanismo de pago llamado monedero y billetera, que efectúan las transacciones, mediante un software que incluye el dispensador.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MEJORAS**

#### **4.1. DISEÑO DE PLAN DE MEJORA**

Para determinar si la asignación de rutas es un factor relevante dentro de la operación de la empresa, se recurre a la cadena de valor de Porter, que permite analizar las actividades de una empresa organizando y clasificando los procesos que se realizan, con el propósito de enfocar programas de mejoramiento generando valor al cliente.



Figura 4. Enfoque de objetivos de mejora. (Autor)

Según Porter el negocio de una empresa es aquel que resulta de su cadena de valor. Las diferencias entre las cadenas de valor de los competidores son una fuente de la ventaja competitiva. Esta ventaja parte de las actividades que realiza la empresa, diseñando, produciendo, comercializando y entregando el producto; creando una base para la diferenciación del producto o servicio.

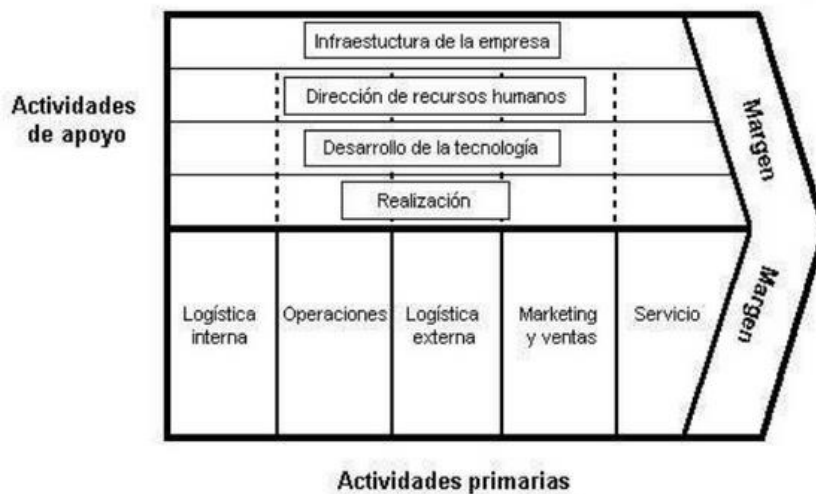


Figura 4.1. Cadena de valor de una empresa. (M. Porter)

La asignación de rutas de la empresa de estudio es una actividad primaria. Las actividades primarias consisten en la creación del producto, venta, postventa y en sub actividades.

1. Logística Interna: Recepción, almacenamiento y distribución de las materias primas
2. Operaciones: Recepción de las materias primas para transformarlas en el producto final.
3. Logística Externa: Almacenamiento de los productos terminados y distribución del producto al consumidor.
4. Mercadotecnia y Ventas Actividades con las cuales se da a conocer el producto.
5. Servicio: Actividades destinadas a mantener o realizar el valor del producto.

Las actividades secundarias o de apoyo son aquellas en las cuales se apoyan las actividades primarias.

El análisis del valor agregado, permite identificar el eslabón más débil mediante el análisis de fortalezas y deficiencias.



Figura 4.1.1. Análisis de valor agregado (Autor)

En el flujo de la figura 4.1.1, se reflejan las actividades que generan valor agregado real, con la finalidad de satisfacer las necesidades del cliente. Si la pregunta es afirmativa esta actividad es relevante para obtener un valor agregado real. Se podría decir que es necesaria una correcta asignación de rutas para cumplir los requerimientos de los clientes y objetivos de la empresa. Sin embargo si la pregunta del cuadro de decisión tiene una respuesta negativa, implicaría que la actividad solo podría generar valor agregado para la organización y podría no ser necesaria su implementación sin afectar la funcionalidad del servicio.

Para detectar las oportunidades de mejoras para el proceso de la asignación de rutas se recurre al diagrama causa efecto, en la figura 4.1.2.



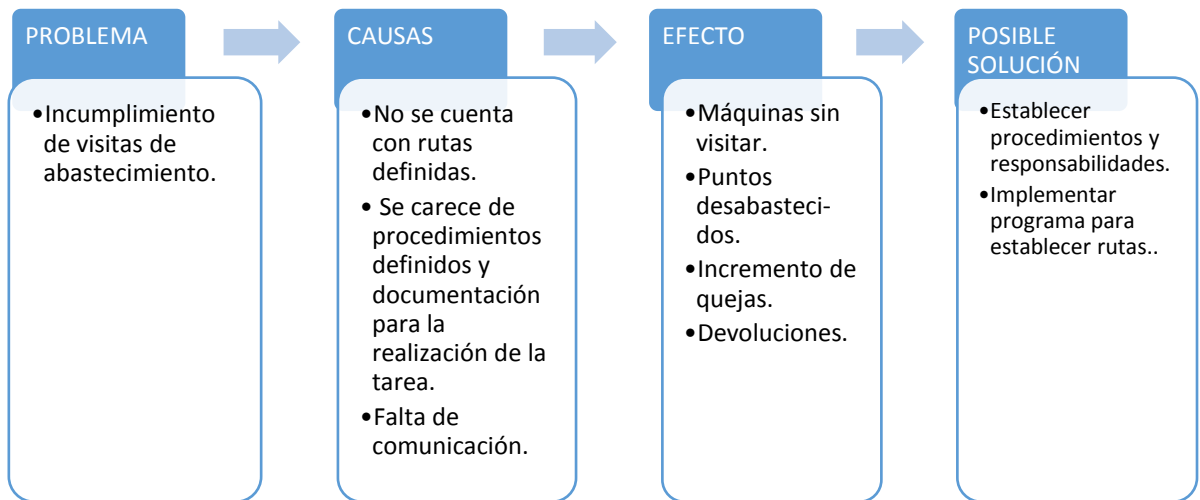


Figura 4.1.2. Diagrama causa y efecto (Autor)

En la figura 4.1.2, se plantea el problema del incumplimiento de la ruta de abastecimiento a nivel operativo y debido a las causas presentadas se obtienen las soluciones de mejora que van a aplicarse en este capítulo, como son:

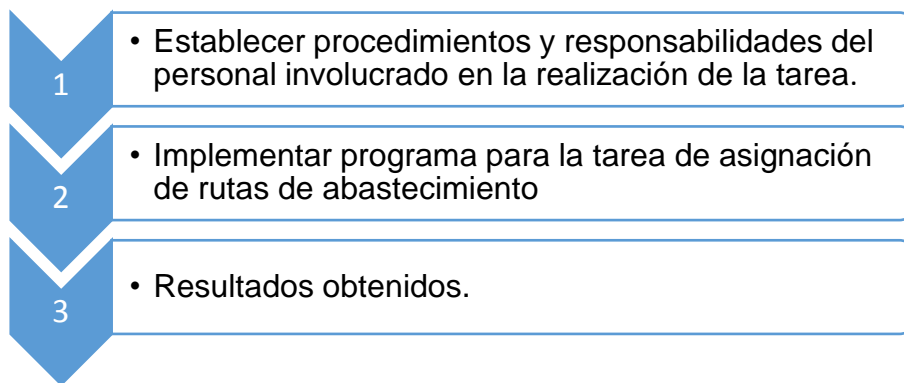


Figura 4.1.3. Diseño de plan de mejoras. (Autor)

La figura 4.1.3, muestra el diseño de plan de mejoras de manera sistemática y organizada previo a su implementación.

Con la finalidad de que las mejoras se ajusten a la realidad de la operación diaria de la empresa, se debe vincular al personal encargado de las actividades en este proceso. Las funciones básicas del personal involucrado en el área operativa son:

Jefe operativo: asigna y establece las rutas de abastecimiento acatando las políticas de la empresa, control de inventarios, responsable de la programación, organización, dirección y control de las actividades para el abastecimiento y distribución de insumos, servicios necesarios para el desarrollo de las actividades del área.

Asistente operativo: ingreso de información a sistema de inventarios de las hojas de abastecimiento, cuadro de valores de caja, elaboración de informes.

Bodeguero: realiza pedidos a bodega central y prepara despachos diarios para cada ruta.

Operario sénior: manejo y cuidado de vehículos realización de la ruta de abastecimiento, y cierres de caja

Operario Junior: abastecimiento, mantenimiento y toma de pedido diarios.

## 4.2. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

Una vez reconocidas las funciones básicas del personal operativo, se establecen las responsabilidades para la realización de la actividad, en la figura 4.2, se realiza el flujo del proceso para el cumplimiento de la política de rutas de visitas a clientes.

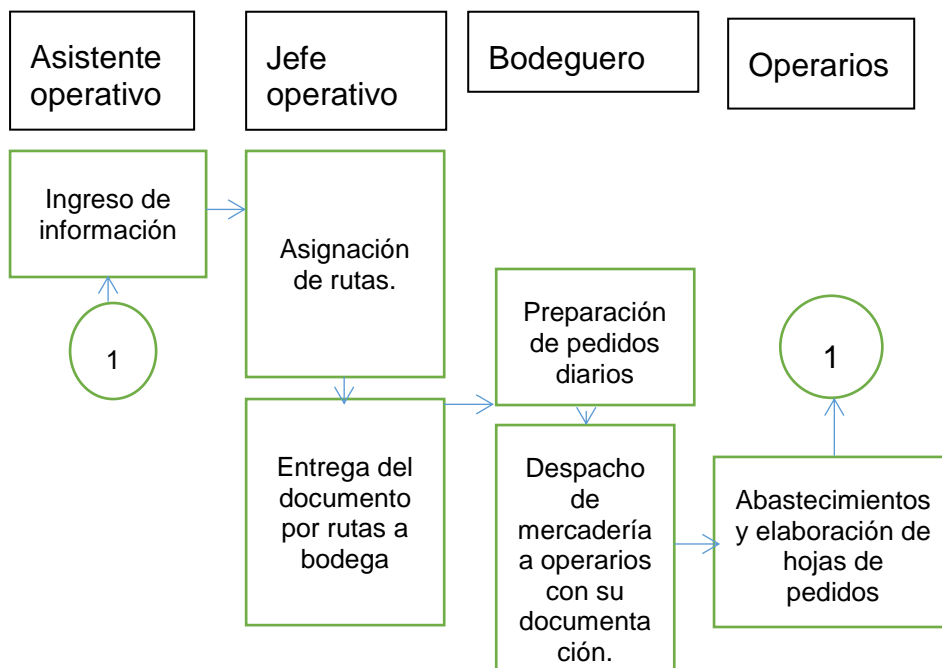


Figura 4.2. Flujograma del proceso para el cumplimiento de rutas. (Autor)

En la figura 4.2, se establecen las principales funciones y responsabilidades para el cumplimiento de la actividad. Se ingresa la información de pedidos y abastecimiento al sistema de inventarios por el asistente operativo, con esta información se procede a elaborar el informe de asignación de rutas por el jefe operativo, una vez obtenido los resultados del informe, se imprimen y se entregan a bodega para la preparación de pedidos considerando:

- Las capacidades de los vehículos por cada ruta.
- Para la preparación de los pedidos se calculará la media móvil de los tres últimos periodos y se corregirá con los pedidos diarios que efectúa cada ruta.

Una vez realizado los pedidos, se despachan a los operarios de cada ruta junto con la secuencia de visitas de los puntos de venta. Cumplida la ruta, los operarios entregan la documentación de pedidos y abastecimientos diarios al asistente operativo.

CLIENTE CÓDIGO	HORA DE LLEGADA	HORA DE SALIDA	OBSERVACIONES	FIRMA CLIENTE

Tabla 4.1. Hoja de control de ruta. (Autor)

CLIENTE	PRODUCTO	UNIDADES ABASTECIDAS	PEDIDO

Tabla 4.2. Hoja de pedido y abastecimientos. (Autor)

Tablas 4.1 y 4.2, son los formatos que deben ser llenados por los operarios y entregar al asistente operativo para su ingreso al finalizar la ruta.

La actividad diaria debe ser contrastada con la hoja de control de ruta por el asistente de operaciones, para la entrega del informe diario a la jefatura de área.

### **4.2.1. IMPLEMENTACIÓN DE HEURÍSTICA PARA EL PROBLEMA DE RUTEO CON CAPACIDADES.**

Las decisiones de ruteo y capacidades están fuertemente relacionadas debido a que el conjunto de rutas de mínimo costo se construye a partir de las cantidades a entregar a los clientes. Estas cantidades se calculan considerando los costos de hacer pedidos, que incluyen costos de transporte y distribución.

Debido a que no es un modelo exacto emplearemos una heurística para encontrar la mejor solución al problema de ruteo con capacidades que se presenta en la logística de abastecimiento de la empresa.

La heurística se deberá actualizar semanalmente, debido a la política de “punto de equilibrio” que dice, que una máquina expendedora debe dispensar un mínimo de 20 transacciones día promedio, para que el dispensador permanezca en la ubicación inicial, justificando los costos de operación.

Los pedidos para abastecimiento deben ser armados diariamente.

- Se maximizará la ganancia.
- Se obtendrá la mejor ruta de visitas a minoristas.
- Se obtendrá la cantidad de producto para abastecimiento por minorista.

En el planteamiento de la heurística se considera lo siguiente:

- Una red de distribución de un producto
- La red consta de un centro de distribución y múltiples minoristas.
- Cada minorista tiene una demanda independiente del producto.
- La capacidad de los minoristas es menor a la capacidad de los vehículos.
- Las frecuencias en cada tour en este problema son diarias, por políticas de servicio de la empresa.

Una vez que se obtienen los recorridos de enrutamiento y la cantidad a entregar a cada minorista, la ganancia aumenta al máximo.

Se posee una flota homogénea con una capacidad de 1000 unidades volumétricas. Por pruebas realizadas en campo el valor promedio que se pueden estibar dentro del furgón son 1000 unidades de 500 ml. (Fuente: empresa de estudio)

Cada ruta debe empezar y terminar en el CD.

La demanda de cada máquina expendedora se debe satisfacer en cada viaje de la ruta.

La capacidad de cada máquina expendedora es de hasta 120 unidades volumétricas. (Fuente: empresa de estudio).

La frecuencia de viaje o visita a cada máquina expendedora será diaria por políticas de la empresa; por naturaleza de las máquinas expendedoras, deben ser visitadas diariamente para corregir posibles fallas de funcionamiento y evitar actos de vandalismo por parte de usuarios inescrupulosos.

El objetivo del problema es decidir los recorridos de enrutamiento para cada minorista y cuanto producto entregar.

En este problema se maximizaran las ganancias, es decir se escogerá el enrutamiento que genere la mayor ganancia posible.

Para la implementación de esta Heurística se utilizó la herramienta de office Excel 2010 visual Basic.

#### **4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO**

El método a usarse para resolver el problema de enrutamiento con capacidades es el de método de barrido modificado y el pseudocódigo se detalla a continuación:

For distribuidor i: Se selecciona como punto de partida, se extiende una línea recta desde el centro de distribución (CD) al minorista i, do:

Se gira hacia la derecha de esta línea (y hacia la izquierda) hasta que se inserta un minorista j:

IF la adición del minorista j viola la restricción de la ruta actual de la capacidad del camión:

Iniciar una nueva ruta;

Else,

Inserte un minorista j para la ruta actual, y el uso de 2 - óptimo para mejorar el enrutamiento,

IF distancia de recorrido ha mejorado y viola la restricción de distancia de enrutamiento:

Else,

Iniciar una nueva ruta

IF el uso de rutas separadas, el costo total es menor:

Iniciar una nueva ruta;

Else,

Inserte minorista j a ruta actual;

End IF

End IF

End IF

Se registra el costo total si se utiliza minorista i como punto de partida.

Se compara y selecciona el menor costo y se utiliza como la solución final. (Askin Ronald, n.d.)

Por lo tanto, se deben obtener las coordenadas de las ubicaciones de los clientes, con estos datos se calculan los ángulos y se ordenan de menor a mayor mediante el método burbuja. Luego se recorren los clientes trazando una línea imaginaria en sentido anti horario y se van adicionando los clientes formando conjuntos de clientes hasta romper la restricción de capacidad del vehículo. Una vez completa la capacidad del vehículo se asigna otro vehículo formando otro cluster o conjunto. Figura 4.2.2.

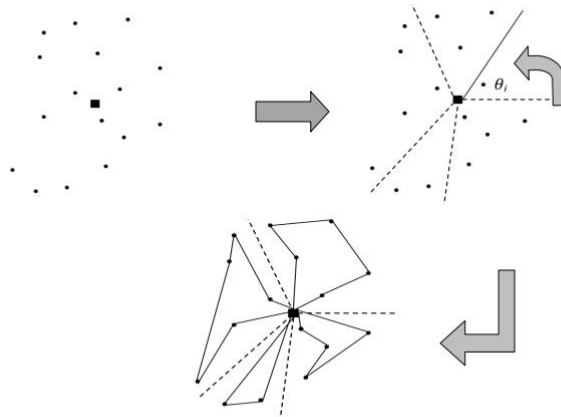


Figura 4.2.2. Implementación del algoritmo en sentido contrario a manecillas de reloj. (Askin Ronald, n.d.)

Finalmente asignados todos los clientes a una ruta, se debe realizar el mismo procedimiento trazando la línea imaginaria y recorriendo en sentido contrario, es decir, en sentido horario, tal como se muestra en la figura 4.2.3.

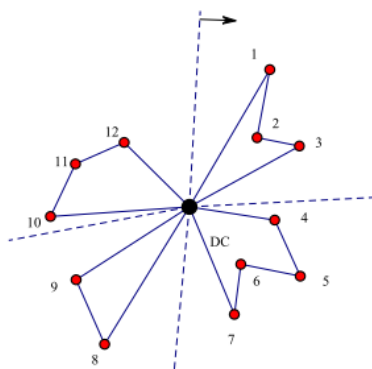


Figura 4.2.3. Recorrido de puntos en sentido horario. (Askin Ronald, n.d.)

Una vez obtenida todas posibles soluciones, se debe seleccionar la que mayor utilidad genere según lo establecido en la función objetivo.

### **4.2.3. DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA**

A continuación se detallan los índices, variables y parámetros de los que está compuesto el algoritmo, las mismas que servirán para el planteamiento del problema en cuestión.

#### **Índices:**

R: conjunto de minoristas.

V: conjunto de excursiones

N: conjunto de frecuencias de ruteo disponibles

#### **Parámetros:**

C: capacidad de vehículos (unidades Volumétricas)

$d_{ij}$ : distancia entre nodo  $i$  a nodo  $j$ ; 0 representa el CD y los enteros positivos representan a los minoristas.

$f_n$ : frecuencia de enrutamiento  $n=1$ . (Diario).

$a$ : costo fijo de usar vehículo de CD

$c$ : unidad de costo por kilómetro.

$h_r$ : costo de mantenimiento anual en minorista  $r$ .

$\mu_r$ : media de la *demand*a total en minorista  $r$ .

$\sigma_r$ : varianza de la demanda de  $r$ .

$p$ : velocidad del vehículo.

#### **Variables:**

$X_{ijv}$ : 1 si  $i$  precede inmediatamente a  $j$  en la ruta  $v$ , 0 si no.

$Y_{rv}$ : 1 si usa la ruta  $v$  para satisfacer la demanda del minorista  $r$ , 0 si no.

$Z_{vn}$ : 1 si la ruta  $v$  tiene frecuencia de enrutamiento en el nivel  $n$ , 0 si no.

Teniendo establecidos los parámetros y variables de decisión del algoritmo, se procede al planteamiento matemático del problema.

### **4.2.4. FORMULACIÓN MATEMÁTICA**

A continuación se detalla el modelo matemático del método utilizado para hallar la solución del problema.



$$(4.1) \text{Min} \sum_{u \in V} (a + c \sum_{i,j \in R_0} d_{ij} x_{ij}) \left( \sum_{u \in N} f_n z_{vn} \right) + \sum_{u \in R} h \left[ \sum_{u \in V} y_{rv} \left( \frac{0.5\mu}{\sum_{n \in N} f_n z_{vn}} + z_{\alpha} \sigma \sqrt{\frac{1}{\sum_{n \in N} f_n z_{vn}}} + \frac{\sum_{i,j \in R_0} d_{ij} x_{ij}}{p} \right) \right]$$

Sujeto a:

$$(4.2) \sum_{j \in R_0} x_{jv} = \sum_{i \in R_0} x_{iv} \quad \forall i \in R_0, v \in V$$

$$(4.3) \sum_{i,j \in B} x_{ij} \leq |B| - 1 \quad \forall B \subseteq R, |B| \geq 2, v \in V$$

$$(4.4) \sum_{j \in R_0} x_{rv} = y_{rv} \quad \forall r \in R, v \in V$$

$$(4.5) \sum_{u \in V} y_{rv} = 1 \quad \forall r \in R$$

$$(4.6) \sum_{u \in N} z_{vn} = 1, \forall v \in V$$

$$(4.7) \sum_{u \in R} \left( \frac{\mu y_{rv}}{\sum_{n \in N} z_{vn} f_n} \right) \leq C, \forall v \in V$$

$$(4.8) \sum_{i,j \in R} d_{ij} x_{ij} \leq D, \forall v \in V$$

$$(4.9) x_{ij}, y_{rv}, z_{vn} \in \{0,1\}, \forall i,j \in R, v \in V, r \in R, n \in N$$

(4.1) La función objetivo se compone en dos partes: costo de enrutamiento y costo de inventario.

(4.2) Conservación de la red. Para cada arco entra en un nodo también debe salir de este.

(4.3) Elimina los subtours.

(4.4)(4.5)(4.6) Garantizan que cada minorista este asignado a una ruta.

(4.7)(4.8) Capacidad de vehículo y límite de distancia de la ruta.

(4.9) Restricciones discretas/binarias.

La formulación matemática para este caso de estudio está sujeta a modificaciones; es decir, en la función objetivo se maximizan las ganancias, la

frecuencia de abastecimientos se fija una frecuencia diaria, debido a la política de servicio de la empresa en estudio.

### **4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE BARRIDO MODIFICADO.**

Para la implementación del algoritmo se deben realizar los siguientes pasos:

- Se recopila e ingresa la información en coordenadas polares de las ubicaciones de los clientes y sus respectivas demandas.
- Se calculan los ángulos de los clientes a partir de las coordenadas usando la fórmula de Arco tangente.
- Se calculan las distancias entre cada cliente mediante el cálculo de las distancias euclidianas entre dos puntos, y se usa la constante de aproximación de geometría esférica.
- Se ordenan los ángulos de las ubicaciones de menor a mayor.
- Se recorren los clientes en sentido contrario a las manecillas del reloj desde el origen, empezando por la ubicación de ángulo menor hasta el mayor, recorriendo hasta completar la capacidad del vehículo asignado. Si existen clientes sin considerar, se debe asignar otro vehículo para esos clientes, y así sucesivamente hasta que se complete todo el conjunto de clientes por visitar.
- Se forman las rutas con su respectivo orden de visita.
- Una vez terminado el ciclo, se debe realizar el mismo procedimiento pero recorriendo los clientes en sentido horario.

Para visualizar el método se recurre al diagrama de flujo, en la figura 4.3 que muestra los datos que se requieren para ejecutar el programa, así como el proceso de ejecución de los cálculos de ángulos y las distancias a partir de las coordenadas obtenidas de cada punto de venta. Luego la función lógica para el cumplimiento de las restricciones establecidas y finalmente, una vez que se cumplen todas las condiciones se finaliza el programa, obteniendo los resultados.

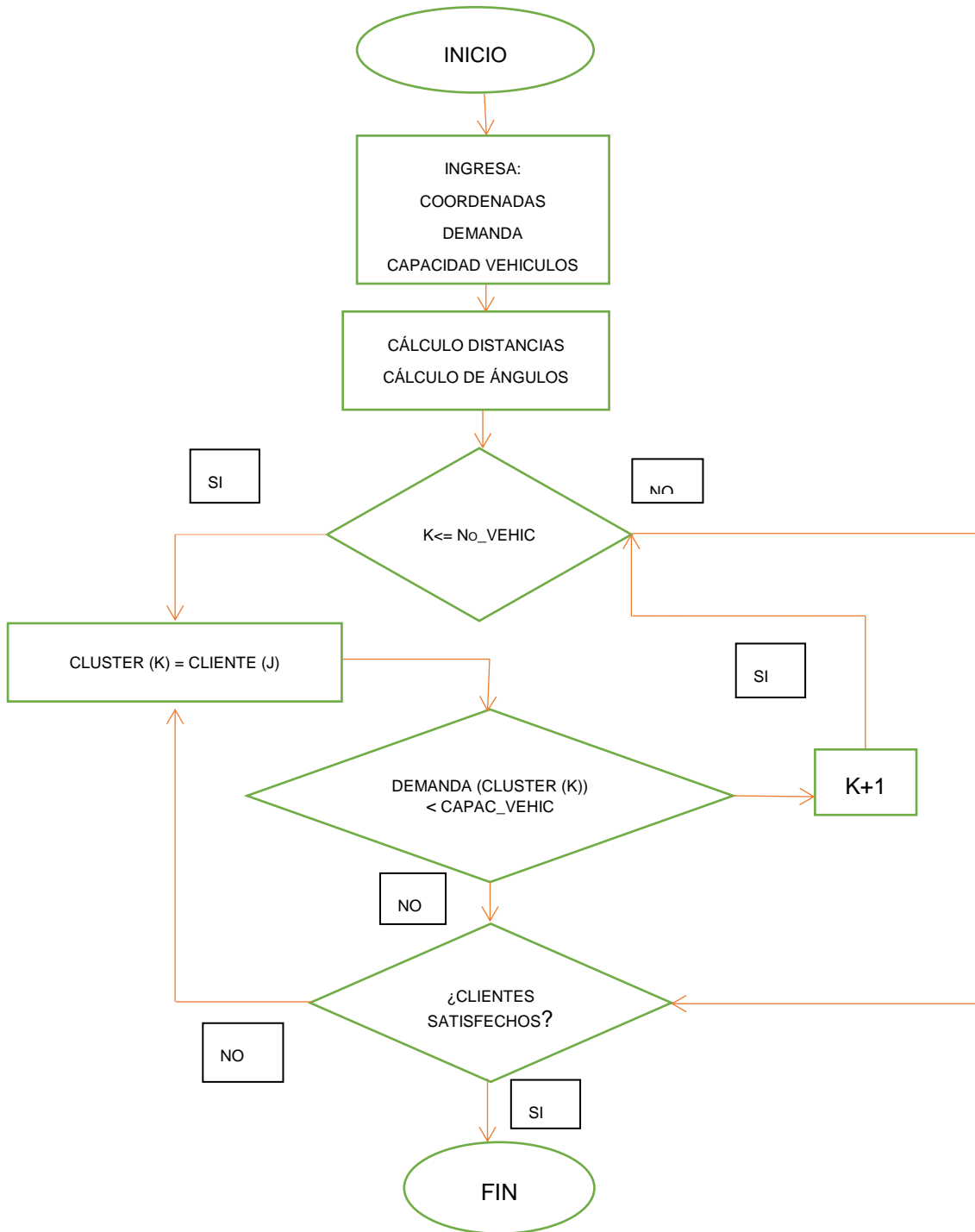


Figura 4.3. Diagrama de flujo del método. (Autor)

### 4.3.1 INTERFAZ DE USUARIO

Como se efectúa la actualización de la heurística periódicamente se presenta una guía de usuario para utilizar el aplicativo desarrollado en Microsoft visual Basic Access:

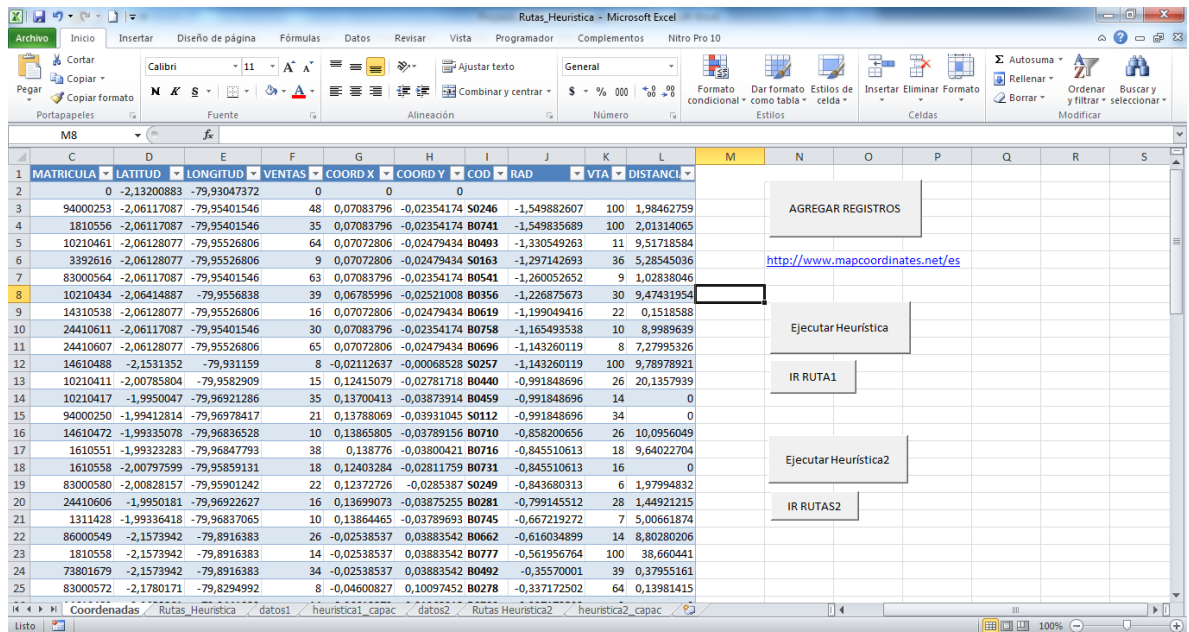


Figura 4.3.1 Pantalla de inicio de aplicativo (Autor)

En la pantalla principal figura 4.3.1, se encuentran los botones de agregar registros y ejecutar heurísticas.

En el comando agregar registros, se ingresa la información solicitada:

- Código asignado a punto de venta.
- Nombre del punto de venta y matrícula.
- Coordenadas obtenidas de Google maps, Google Earth, u otro aplicativo de georeferencia.
- Demanda del punto de venta obtenida de la empresa de estudio.

Se muestra a continuación en la figura 4.3.2, el formulario que aparecerá al hacer click en el botón “agregar registros”:

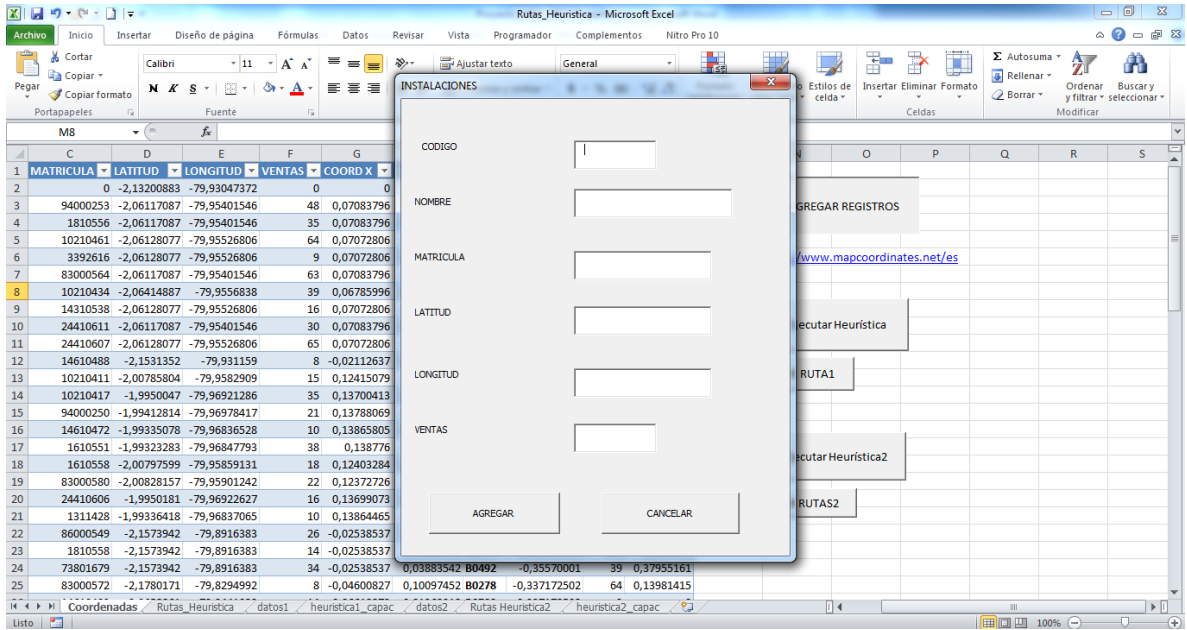


Figura 4.3.2 Formulario de ingreso de datos (Autor)

Una vez ingresada la información se pueden revisar los resultados obtenidos haciendo click en el botón “Ir Ruta”, escogiendo la de mayor función objetivo y se procede a imprimir o guardar para usarla en la práctica, figura 4.3.3:

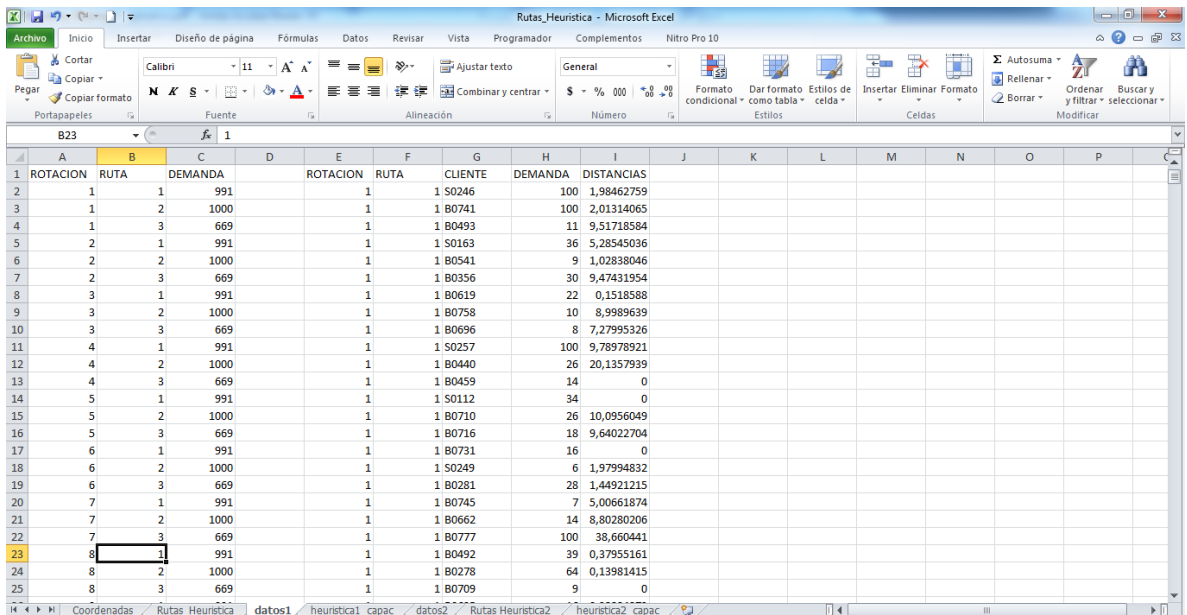


Figura 4.3.3. Listado de rutas generadas. (Autor)

#### 4.4. RESULTADOS OBTENIDOS

Al correr el programa se obtienen tres rutas en todos los casos pero con diferentes demandas por ruta; el gráfico 4.4, muestra que se forman 15 clases; y los valores de demanda 997, 993 y 816 se presentan en la mayoría de los resultados.

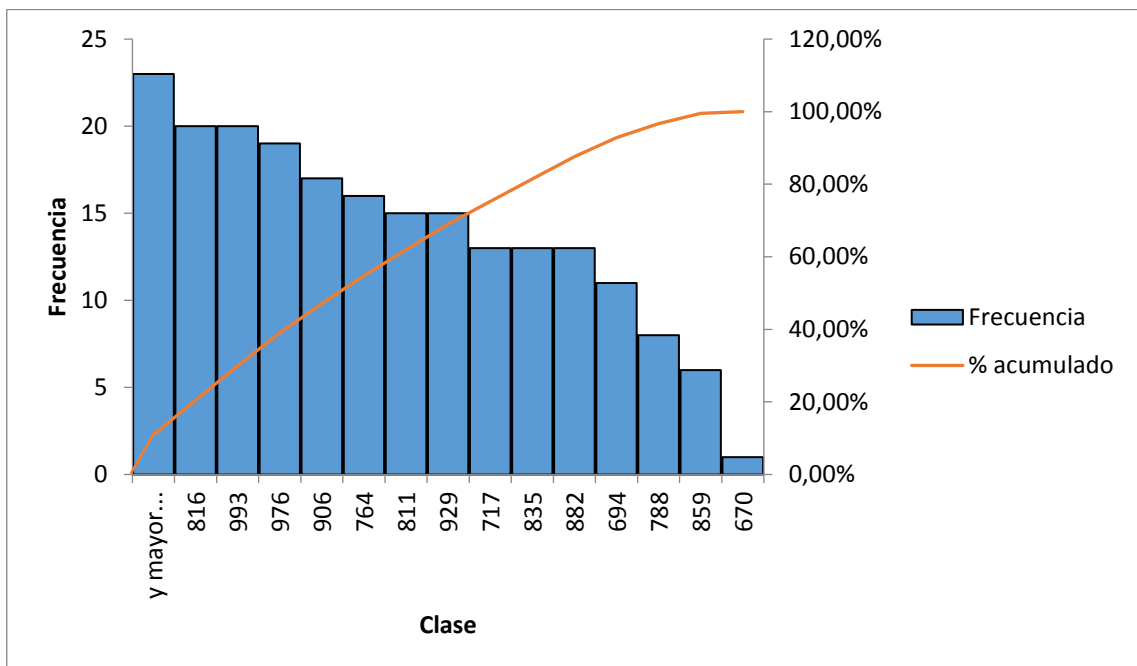


Gráfico 4.4. Histograma de resultados obtenidos por rutas.

Los resultados obtenidos al correr la heurística en ambos sentidos de las manecillas del reloj se observan en la tabla 4.4.1; se generaron 70 rotaciones que forman 3 rutas en cada rotación, con una demanda acumulada para cada ruta, cumpliendo las restricciones de capacidades establecidas.

ROTACIONES	RUTAS	DEMANDA
<b>anti horario</b>		
(70)	1	993
	2	997
	3	816

Horario		
(70)	1	966
	2	957
	3	883

Tabla 4.4.1. Rutas generadas por la heurística con sus capacidades. (Autor)

El listado de las rutas y secuencias obtenidas al recorrer la heurística en sentido anti horario, se detallan en la tabla 4.4.2, con su respectiva secuencia de visita a clientes, la demanda por punto de venta, y la distancia recorrida de un punto a otro:

La función objetivo, F.O: \$2531.22

RUTA	CLIENTE	DEMANDA	DISTANCIA
1	S0246	100	1,98462759
1	B0741	100	2,01314065
1	B0493	16	9,51718584
1	S0163	36	5,28545036
1	B0541	20	1,02838046
1	B0356	30	9,47431954
1	B0619	22	0,1518588
1	B0758	20	8,9989639
1	B0696	20	7,27995326
1	S0257	100	9,78978921
1	B0440	26	20,1357939
1	B0459	14	0
1	S0112	34	0
1	B0710	26	10,0956049
1	B0716	18	9,64022704
1	B0731	16	0
1	S0249	20	1,97994832
1	B0281	28	1,44921215
1	B0745	20	5,00661874
1	B0662	14	8,80280206
1	B0777	100	38,660441
1	B0278	64	0,13981415
1	B0709	20	0
1	B0695	16	0,13981415
1	S0115	65	0,13981415
1	B0275	48	8,30019055

<b>RUTAS</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>DEMANDA</b>	<b>DISTANCIAS</b>
2	B0276	35	0
2	B0473	63	0,13981415
2	B0492	39	0
2	S0107	30	0,13981415
2	S0227	13	0,20484184
2	B0706	49	9,87962625
2	B0279	74	6,19041396
2	B0667	54	8,9989639
2	B0664	48	0
2	B0665	28	0
2	B0666	65	0
2	S0223	105	0,08590944
2	S0213	50	0
2	S0216	49	0
2	S0214	74	0
2	S0220	28	0
2	S0221	22	0
2	S0226	100	0
2	S0240	71	4,75845573
<b>RUTA</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>DEMANDA</b>	<b>DISTANCIA</b>
3	B0672	22	0,08590944
3	B0673	14	0
3	S0230	20	0,4603235
3	B0671	14	10,8350918
3	B0390	21	0,11634066
3	S0212	16	1,86140313
3	B0389	35	1,87548163
3	B0656	38	0,01813562
3	S0222	20	0,20705422
3	B0391	20	0,17989537
3	B0535	22	0,05785327
3	B0682	20	7,04200651
3	B0642	18	1,97379431
3	B0388	15	16,4329563
3	B0759	14	17,8279891
3	B0453	20	8,58858179
3	B0454	79	0
3	B0649	20	0
3	B0650	33	0
3	S0110	50	0



<b>3</b>	S0175	94	0
<b>3</b>	S0176	108	0
<b>3</b>	B0324	20	10,5594255
<b>3</b>	B0298	62	6,2468103
<b>3</b>	B0299	21	0

Tabla 4.4.2. Rutas de abastecimiento formadas al ejecutar heurística en sentido anti horario.  
(Autor)

El segundo paso es correr la heurística en sentido horario, generando las rutas que se detallan a en la tabla 4.4.3, la cual contiene la secuencia de visitas a clientes, la demanda por punto de venta, y la distancia recorrida entre los puntos:

F.O: \$2463.41

<b>RUTA</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>DEMANDA</b>	<b>DISTANCIA</b>
<b>1</b>	B0453	20	8,58858179
<b>1</b>	B0454	79	0
<b>1</b>	B0649	20	0
<b>1</b>	B0650	33	0
<b>1</b>	S0110	50	0
<b>1</b>	S0175	94	0
<b>1</b>	S0176	108	0
<b>1</b>	B0759	14	17,8279891
<b>1</b>	B0388	15	16,4329563
<b>1</b>	B0642	18	1,97379431
<b>1</b>	B0682	20	7,04200651
<b>1</b>	B0535	22	0,05785327
<b>1</b>	B0391	20	0,17989537
<b>1</b>	S0222	20	0,20705422
<b>1</b>	B0656	38	0,01813562
<b>1</b>	B0389	35	1,87548163
<b>1</b>	S0212	16	1,86140313
<b>1</b>	B0390	21	0,11634066
<b>1</b>	B0671	14	10,8350918
<b>1</b>	S0230	20	0,4603235
<b>1</b>	B0672	22	0,08590944
<b>1</b>	B0673	14	0
<b>1</b>	B0706	49	9,87962625
<b>1</b>	B0279	74	6,19041396
<b>1</b>	B0667	54	8,9989639
<b>1</b>	B0664	48	0
<b>1</b>	B0665	28	0

<b>RUTA</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>DEMANDA</b>	<b>DISTANCIA</b>
2	B0666	65	0
2	S0223	105	0,08590944
2	S0213	50	0
2	S0216	49	0
2	S0214	74	0
2	S0220	28	0
2	S0221	22	0
2	S0226	100	0
2	S0240	71	4,75845573
2	S0227	13	0,20484184
2	B0275	48	8,30019055
2	B0276	35	0
2	B0473	63	0,13981415
2	B0492	39	0
2	S0107	30	0,13981415
2	B0278	64	0,13981415
2	B0709	20	0
2	B0695	16	0,13981415
2	S0115	65	0,13981415

<b>RUTA</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>DEMANDA</b>	<b>DISTANCIA</b>
3	B0777	100	38,660441
3	B0662	14	8,80280206
3	B0745	20	5,00661874
3	B0281	28	1,44921215
3	S0249	20	1,97994832
3	B0716	18	9,64022704
3	B0731	16	0
3	B0710	26	10,0956049
3	B0440	26	20,1357939
3	B0459	14	0
3	S0112	34	0
3	B0696	20	7,27995326
3	S0257	100	9,78978921
3	B0758	20	8,9989639
3	B0619	22	0,1518588
3	B0356	30	9,47431954
3	B0541	20	1,02838046
3	S0163	36	5,28545036

3	B0493	16	9,51718584
3	B0741	100	2,01314065
3	S0246	100	1,98462759
3	B0298	62	6,2468103
3	B0299	21	0
3	B0324	20	10,5594255

Tabla 4.4.3. Rutas de abastecimiento formadas al ejecutar heurística en sentido horario. (Autor)

En base al método de solución se debe seleccionar la asignación de rutas que tenga el mejor resultado para la función objetivo y se ajuste a la instancia real. A continuación se grafican los clientes en el plano cartesiano para visualizar las ubicaciones de los clientes sectorizadas por este método.

En la ruta 1 como se visualiza en el gráfico 4.4.1, los clientes se concentran en el segundo y en el cuarto cuadrante un pequeño grupo de clientes que estarían cerca del origen o bodega.

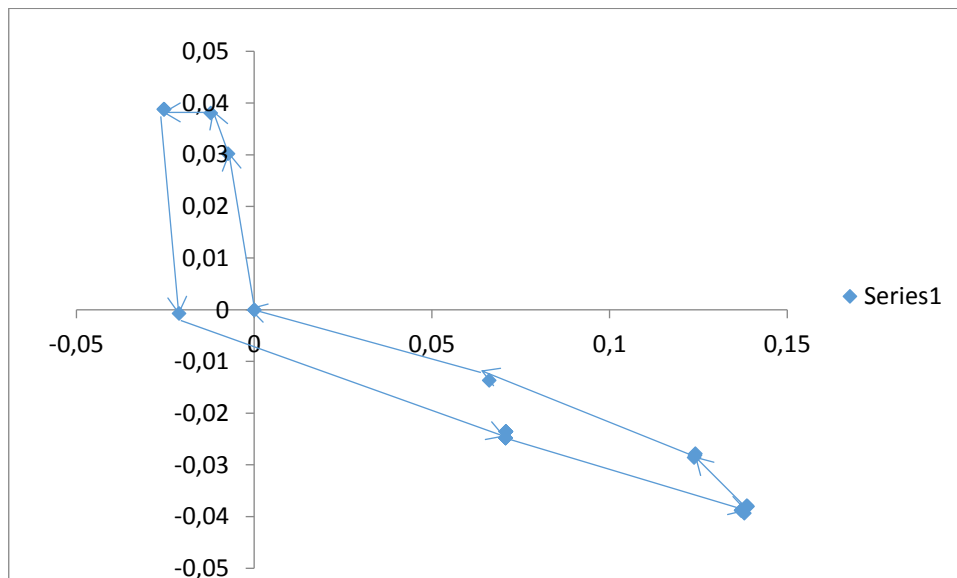


Gráfico 4.4.1 Ruta1 (Autor)

Los gráficos 4.4.2 y 4.4.3, se muestra como la ruta 2 y 3, agrupan a los clientes en los cuadrantes del plano cartesiano correspondientes.

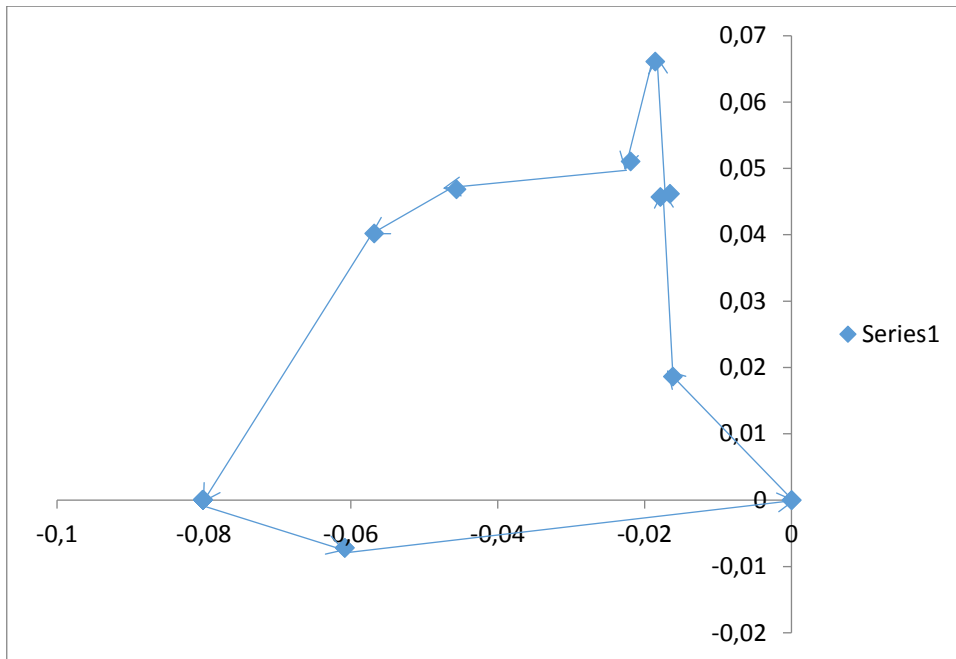


Gráfico 4.4.2 Ruta 2 (Autor)

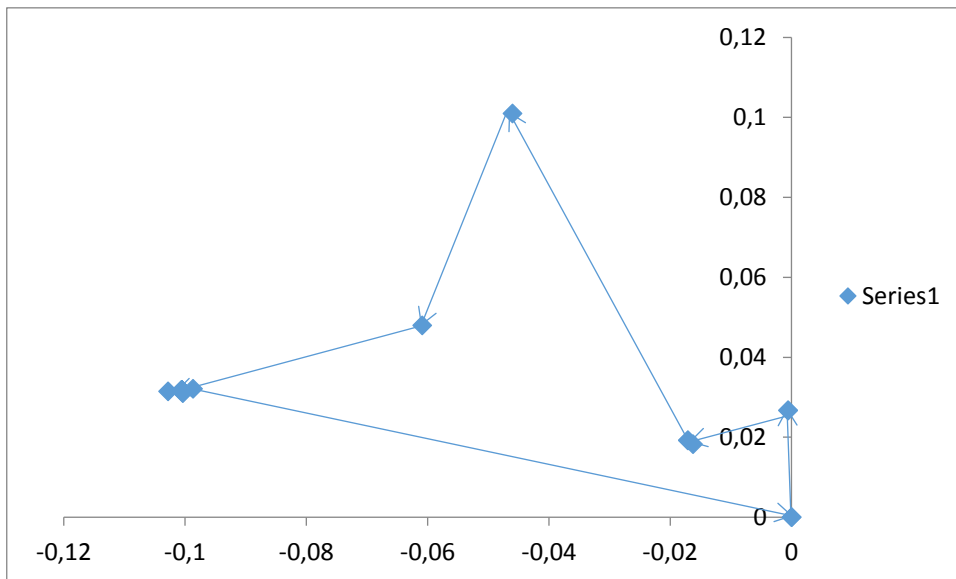


Gráfico 4.4.3 Ruta3 (Autor)

#### **4.5. Recursos computacionales y eficiencia del algoritmo**

Para la realización de la heurística se utilizó un computador con las siguientes características:

Procesador Intel® Core™ i3 CPU M380 @2.53 GHz

Memoria instalada RAM: 4.0 GB (3.80 GB UTILIZABLE)

Sistema operativo de 64 bits.

La eficiencia de los bucles se puede expresar mediante la función  $f(n)$ ; es decir, la eficiencia del algoritmo se examina como el número de elementos a ser procesados, donde el número de iteraciones es directamente proporcional al factor del bucle, cuando los bucles son lineales; es decir,  $i = i + 1$ . En este caso particular se tienen bucles anidados y se multiplica las iteraciones de los bucles internos por el bucle externo lo que da un total de 32.706 iteraciones.

Este algoritmo es de complejidad  $O(n^2)$ , dado que el interior de la rama for corresponde a un orden  $O(n^2)$ , (dos bucles anidados) y la rama while una complejidad proporcionada por un bucle interno de  $O(n)$ . Por lo tanto ( $O(\text{for}) > O(\text{while})$ ).

El código del algoritmo se puede ver en el anexo No 3.

El tiempo de ejecución del algoritmo es 0,000115740738692693 segundos.

## CAPÍTULO 5

### 5.1. CONCLUSIONES

1. Este trabajo permite generar un listado con las rutas, el orden de entrega a clientes, las cantidades de entrega por ruta y por cliente, y la cantidad de vehículos que se requieren para el cumplimiento de las políticas de abastecimiento asignadas al problema.
2. Como resultado, se obtiene la generación de tres rutas que cumplen con la restricción de demanda diaria y se requieren tres vehículos para cumplir con la política de abastecimientos.
3. Las cantidades de pedido diario para cada ruta, están dadas por el resultado de la heurística en sentido contrario a las manecillas del reloj, como sigue:

RUTAS	DEMANDA
<b>Total</b>	2806
<b>1</b>	993
<b>2</b>	997
<b>3</b>	816

Tabla 5.1.1. Cantidades diarias de pedido por ruta. (Autor)

Este diseño de la ruta da como resultado una función objetivo de \$2531.22/día, y recorre la distancia de 274.78 kilómetros, para el cumplimiento de los abastecimientos.

Las cantidades abastecidas diarias de los últimos 30 días de la empresa en estudio, se muestran en el gráfico 5.1.1 de cantidades máximas y mínimas abastecidas diarias y sus respectivas frecuencias, sin el uso del algoritmo:

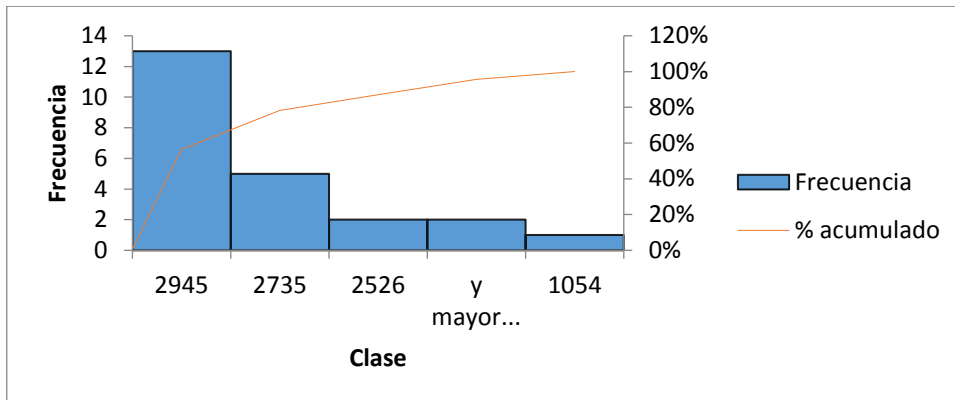


Gráfico 5.1.1 Cantidades abastecidas diarias. (Empresa de estudio)

Se puede visualizar que las cantidades abastecidas con mayor frecuencia son 2.945 unidades; el histograma refleja que existen inconsistencias en los abastecimientos y pedidos, ya que en ocasiones solo se abastecen 1054 unidades. Sin aplicar la heurística el valor promedio obtenido es de \$2461.95/día.

4. Se plantea en el capítulo IV el procedimiento básico para el uso del programa, en la primera hoja de cálculo “coordenadas” se visualiza un formulario que se activa con el botón de comando “agregar registros”, en el cual facilita el ingreso de los parámetros de entrada que son: nombre, código y matrícula de punto de venta, la ubicación por coordenadas y su demanda.

Para el uso del programa no se requiere realizar una inversión, ya que se cuenta con la licencia Microsoft office con Excel, es decir, no se requiere adquirir recursos adicionales como personal y equipo especializados, ni soporte en instalación y mantenimiento del programa.

5. Se comparan las rutas arrojadas por el programa, con la instancia real y se obtiene una buena solución tal como se detalla en la figura 5.1, a continuación:



Figura 5.1 Rutas generadas. (Autor)

El programa no grafica las rutas, las rutas son graficadas en google map para una mejor visualización de los resultados.

## 5.2. RECOMENDACIONES

1. Debido a que el programa fue realizado en Excel puede sufrir modificaciones al momento que se manipula para el ingreso de información, tal como, eliminación de hojas, eliminación de filas y columnas, se puede borrar información de algunas celdas, entre otros. Por lo tanto se debe guardar una copia del archivo a manera de plantilla antes de su manipulación.
2. Las distancias utilizadas en este proyecto fueron calculadas mediante la distancia euclidiana entre dos puntos multiplicada por una constante, para





## **Bibliografía**

- Askin Ronald, M. X. (School of C. (n.d.). HYBRID HEURISTICS FOR INFINITE PERIOD INVENTORY ROUTING PROBLEM Ronald G. Askin Mingjun Xia School of Computing, Informatics & Decision Systems Engineering Arizona State University, 1–27.
- Basha, Z., & Ofgaa, G. (2008). The New Joined Sweep and Clark and Wright Algorithm for Clustering of Capacitated Vehicle Routing Problem. *Dep. of Mechanical Engineering*, (2005), 169–174.
- Cabrera, J., Justine, M., Salvatierra, S., Víctor, I., & Chica, V. (n.d.). Alimencios refrigerados y secos para un operador logístico”, (1).
- Cetin, S., & Gencer, C. (2015). A Heuristic Algorithm for Vehicle Routing Problems with Simultaneous Pick-Up and Delivery and Hard Time Windows, (March), 35–41.
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing, 14(6), 367–428. [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14006-2](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2)
- D, G. M., & Julio, M. (2015). Análisis computacional de los problemas del vendedor viajero y patrones de corte A Computational Analysis of the Traveling Salesman and Cutting Stock Problems, (número 1), 59–70.
- Erasmus López, Salas Óscar, M. A. (2014). USANDO BÚSQUEDA TABÚ THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM: A DETERMINISTIC ALGORITHM. *Revista de Matemática*, 21(1), 127–144.
- Hillier, Frederick S. Lieberman, G. J. (2004). Investigación de Operaciones - Hillier, Lieberman.pdf. Mexico DF: McGraw-Hill,2002.
- Juan Pablo Orrego Cardozo. (2013). Solución al CVRP usando heurística barrido y alg genético. *Tesis*, 1–69.
- Mario Daza Julio, Montoya Jairo, N. F. (2009). Resolución de CVRP-FH metaheurístico dos fases. *Revista EIA*, 23–38.
- Miranda Burguete María. (2015). Desarrollo e implementación de un algoritmo de optimización basado en los ritmos del flamenco para la resolución del problema de distribución de vehículos en rutas.

Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos.

Pablo, J., Cardozo, O., Toro, D. O., Mirledy, E., & Ocampo, T. (2016). Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada ( CVRP ) usando una técnica metaheurística, 21(3).

Ramírez Rodríguez, L. E., & luiiram7@outlook.com. (2016). *Una Solución al Problema de Ruteo de Vehículos Abierto (Ovrp), Implementando la Heurística del Vecino más Cercano*. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2985>

Sistemas, E. De. (2011). Heurística inspirada en el análisis sistémico del “Vecino más cercano”, para solucionar instancias simétricas TSP, empleando una base comparativa multicriterio Jorge Iván Pérez Rave.

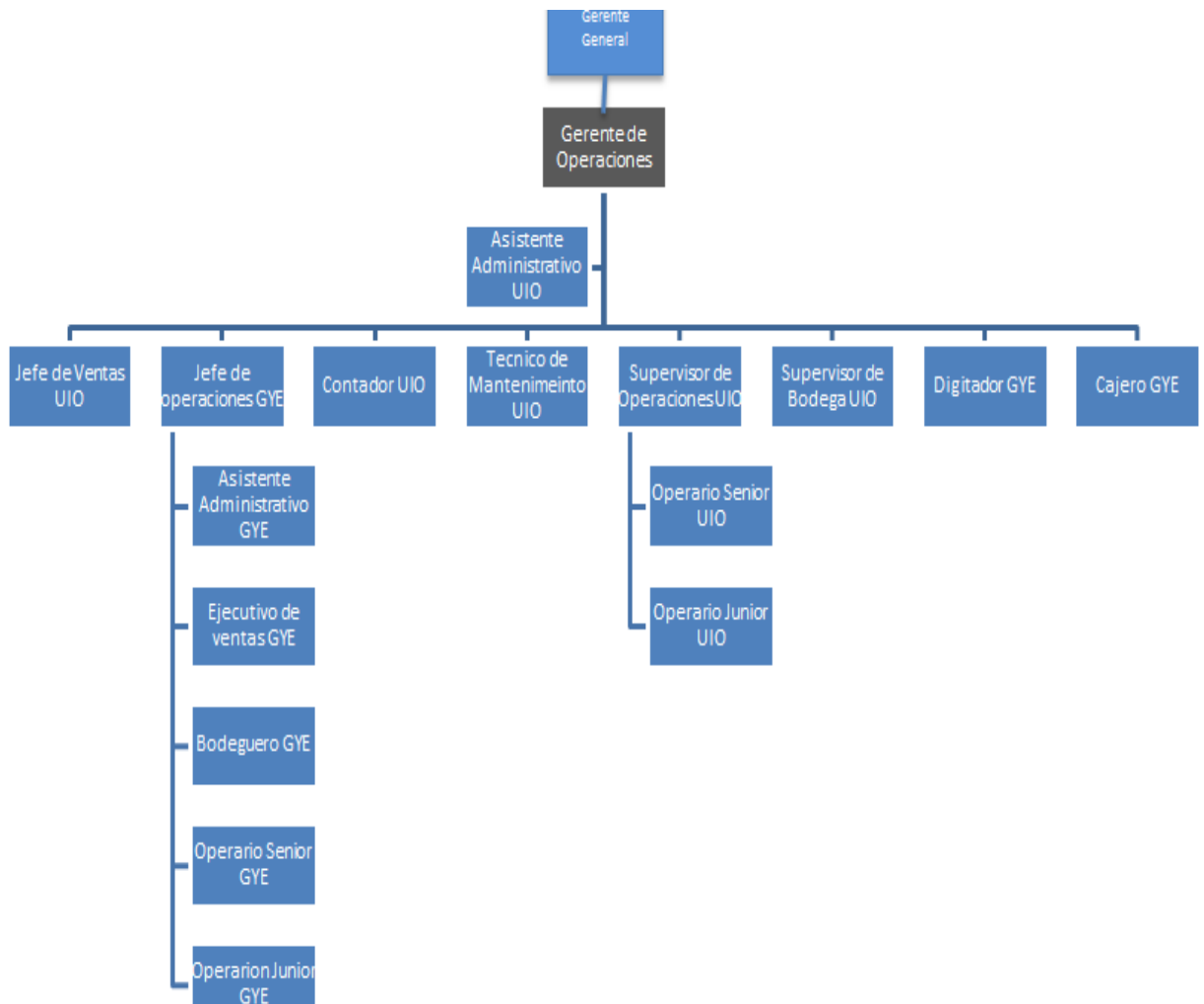
Soler, D., Aplicada, D. D. M., Politécnica, U., & Valencia, D. (2002). THE CAPACITATED GENERAL ROUTING PROBLEM, 23(1), 15–26.

Francesc Robusté Antón, Logística de Transporte, Ediciones UPC, 2005.

Mikel Mauleón Torres, Gestión de stock, ediciones Días de Santos, 2014.

## ANEXOS

### Anexo 1. Organigrama de la empresa de estudio



## **Anexo 2. Visión, misión y Objetivos generales.**

### **MISIÓN:**

Comercializar por medio de máquinas de expendio automático una amplia gama de refrescos en la mayor cantidad de espacios públicos y privados que permitan esta actividad, cumpliendo con los mejores estándares de calidad, servicio y precios a fin de mantener una alta rotación de productos y clientes altamente satisfechos.

### **VISIÓN:**

Ser en el corto plazo la empresa líder del Ecuador en la comercialización de bebidas por medio de Vending Machines, proveyendo a nuestros clientes productos de los mejores y más reconocidos proveedores y marcas garantizando satisfacción en el público en general.

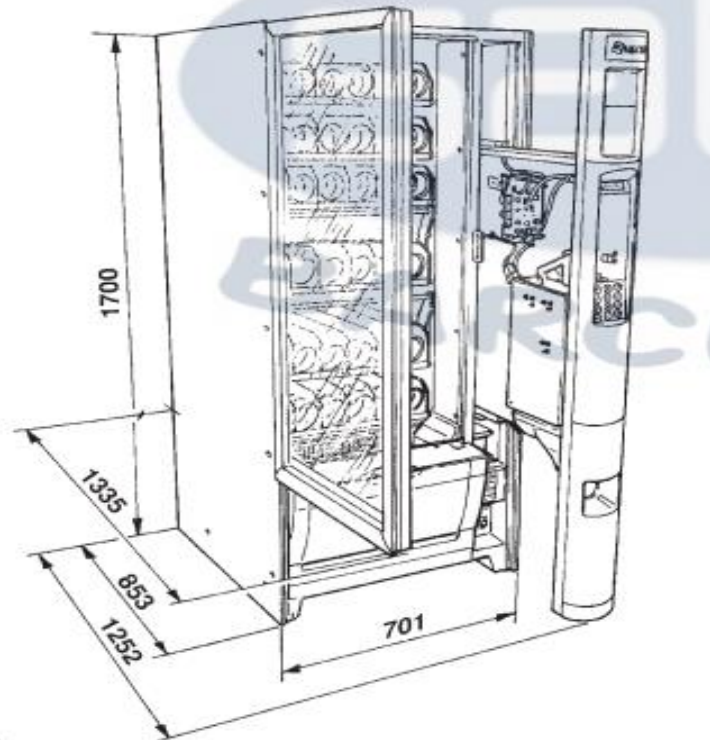
### **OBJETIVOS GENERALES:**

- Incrementar las Ventas mensuales obteniendo y manteniendo clientes que ofrezcan alta rotación de productos satisfaciendo la promesa comercial realizada.
- Reducción de diferencias en caja y monedero.
- Reducción de diferencia en Materia Prima.
- Visitar, limpiar, abastecer y mantener en óptimas condiciones todas las máquinas.
- Mejorar el Servicio.
- Optimización de Costos.

### Anexo 3. Características de máquinas expendedoras

#### DIMENSIONES

Altura	1700 mm
Anchura	701 mm
Profundidad	854 mm
Espacio ocupado con puerta abierta	1335 mm
Peso	190 kg



## **Anexo 4. Modelos de dispensadores automáticos de bebidas.**



## **Anexo 5. Código heurística sentido anti horario.**

Sub ejecutar\_heuristica()

Dim Clientes, UltimoClienteLista As Integer

Dim CodCliente As String

Dim Angulo As Double

Dim Alternativa As Long

Dim Ventas As Integer

Dim Ruta As Integer

Dim ruta2 As Integer

Dim distancias As Double

Clientes = 3

While Hoja1.Cells(Clientes, 1) <> ""

Clientes = Clientes + 1

Wend

UltimoClienteLista = Clientes - 1

'calculo del angulo para cada coordenada respecto x

For i = 3 To UltimoClienteLista

'codigo

Hoja1.Cells(i, 9).Value = Hoja1.Cells(i, 1).Value

'angulo

Hoja1.Cells(i, 10).Value = Atn((Hoja1.Cells(i, 8).Value) / (Hoja1.Cells(i, 7)))

'ventas

Hoja1.Cells(i, 11).Value = Hoja1.Cells(i, 6).Value

'distancias

Hoja1.Cells(i, 12).Value = Sqr((Hoja1.Cells(i, 7).Value - Hoja1.Cells(i - 1, 7))  
^ 2 + (Hoja1.Cells(i, 8).Value - Hoja1.Cells(i - 1, 8).Value) ^ 2) \* 111.192



Next

'rutina de ordenacion

n = Clientes

While n >= 4

For i = 3 To (UltimoClienteLista - 1)

If Hoja1.Cells(i, 10).Value > Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value Then

CodCliente = Hoja1.Cells(i, 9).Value

Angulo = Hoja1.Cells(i, 10).Value

Ventas = Hoja1.Cells(i, 11).Value

distancias = Hoja1.Cells(i, 12).Value

Hoja1.Cells(i, 9).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 9).Value

Hoja1.Cells(i, 10).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value

Hoja1.Cells(i, 11).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 11).Value

Hoja1.Cells(i, 12).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 12).Value

Hoja1.Cells(i + 1, 9).Value = CodCliente

Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value = Angulo

Hoja1.Cells(i + 1, 11).Value = Ventas

Hoja1.Cells(i + 1, 12).Value = distancias

End If

Next

n = n - 1

Wend

'capacidades rutas

'Alternativa = 0

Ruta = 0

Const CapacidadVehiculo As Long = 1000

FilaRutaXRotacion = 2

FilaClienteXRutaXRotacion = 2

For InicioRotacion = 3 To UltimoClienteLista

    Ruta = 1

    clientesRecorridos = 1

    'clientesRecorridos <= TotalClientes And

    While Val(Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value) > 0

        Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 1).Value = InicioRotacion - 2

        Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 2).Value = Ruta

        Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value = 0

        While Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value +  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value <= CapacidadVehiculo And  
Val(Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value) > 0

            Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value =  
Hoja3.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value + Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2,  
11).Value

            Hoja3.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 5).Value = InicioRotacion - 2

            Hoja3.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 6).Value = Ruta

            Hoja3.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 7).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 9).Value

            Hoja3.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 8).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value

            Hoja3.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 9).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 12).Value

            clientesRecorridos = clientesRecorridos + 1

            FilaClienteXRutaXRotacion = FilaClienteXRutaXRotacion + 1

        Wend

FilaRutaXRotacion = FilaRutaXRotacion + 1

Ruta = Ruta + 1

Wend

Next

MsgBox ("Ruta generada en Hoja Ruta Heuristica")

End Sub

## **Anexo 6. Código Heurística sentido horario.**

Sub ejecutar\_heuristica\_2()

Dim Clientes, UltimoClienteLista As Integer

Dim CodCliente As String

Dim Angulo As Double

Dim Alternativa As Long

Dim Ventas As Integer

Dim Ruta As Integer

Dim ruta2 As Integer

Dim distancias As Double

a = Now

Clientes = 3

While Hoja1.Cells(Clientes, 1) <> ""

Clientes = Clientes + 1

UltimoClienteLista = Clientes - 1

Wend

'calculo del angulo para cada coordenada respecto y

For i = 3 To UltimoClienteLista

'codigo

Hoja1.Cells(i, 9).Value = Hoja1.Cells(i, 1).Value

'angulo

Hoja1.Cells(i, 10).Value = Atn((Hoja1.Cells(i, 7).Value) / (Hoja1.Cells(i, 8))) + 3.1416 / 2

'ventas

Hoja1.Cells(i, 11).Value = Hoja1.Cells(i, 6).Value

'distancias

```
Hoja1.Cells(i, 12).Value = Sqr((Hoja1.Cells(i, 7).Value - Hoja1.Cells(i - 1, 7))  
^ 2 + (Hoja1.Cells(i, 8).Value - Hoja1.Cells(i - 1, 8).Value) ^ 2) * 111.192
```

```
Next
```

```
'rutina de ordenacion
```

```
n = Clientes
```

```
While n >= 4
```

```
For i = 3 To (UltimoClienteLista - 1)
```

```
  If Hoja1.Cells(i, 10).Value > Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value Then
```

```
    CodCliente = Hoja1.Cells(i, 9).Value
```

```
    Angulo = Hoja1.Cells(i, 10).Value
```

```
    Ventas = Hoja1.Cells(i, 11).Value
```

```
    distancias = Hoja1.Cells(i, 12).Value
```

```
    Hoja1.Cells(i, 9).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 9).Value
```

```
    Hoja1.Cells(i, 10).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value
```

```
    Hoja1.Cells(i, 11).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 11).Value
```

```
    Hoja1.C
```

```
    ells(i, 12).Value = Hoja1.Cells(i + 1, 12).Value
```

```
    Hoja1.Cells(i + 1, 9).Value = CodCliente
```

```
    Hoja1.Cells(i + 1, 10).Value = Angulo
```

```
    Hoja1.Cells(i + 1, 11).Value = Ventas
```

```
    Hoja1.Cells(i + 1, 12).Value = distancias
```

```
  End If
```

```
Next
```

```
n = n - 1
```

```
Wend
```

'capacidades rutas

'Alternativa = 0

Ruta = 0

Const CapacidadVehiculo As Long = 1000

FilaRutaXRotacion = 2

FilaClienteXRutaXRotacion = 2

For InicioRotacion = 3 To UltimoClienteLista

    Ruta = 1

    clientesRecorridos = 1

    'clientesRecorridos <= TotalClientes And

    While Val(Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value) > 0

        Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 1).Value = InicioRotacion - 2

        Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 2).Value = Ruta

        Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value = 0

        While Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value +  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value <= CapacidadVehiculo And  
Val(Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value) > 0

            Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value =  
Hoja6.Cells(FilaRutaXRotacion, 3).Value + Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2,  
11).Value

            Hoja6.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 5).Value = InicioRotacion - 2

            Hoja6.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 6).Value = Ruta

            Hoja6.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 7).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 9).Value

            Hoja6.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 8).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 11).Value

            Hoja6.Cells(FilaClienteXRutaXRotacion, 9).Value =  
Hoja1.Cells(clientesRecorridos + 2, 12).Value

clientesRecorridos = clientesRecorridos + 1

FilaClienteXRutaXRotacion = FilaClienteXRutaXRotacion + 1

Wend

FilaRutaXRotacion = FilaRutaXRotacion + 1

Ruta = Ruta + 1

Wend

b = Now

t = b - a

Hoja1.Cells(1, 17).Value = t

Next

MsgBox ("se genera ruta en hoja rutas heuristica2")

End Sub