

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMATICAS

TESIS DE GRADO

TEMA

EL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO VEHICULAR DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS AUTOMOTRICES Y HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS: RESOLUCIÓN MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO VEHICLE ROUTING PROBLEM Y ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE FLOTA DE TRANSPORTE

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”

AUTOR(ES)

ANDREA FERNANDA AGUIRRE ESTRADA

MARIA FERNANDA PILLAJO MARTINEZ

Guayaquil –Ecuador

2014

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de haber existido mayor distancia entre los dos, siento que estuviste conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí. A mi hermano, que a pesar de ser menor, tengo mucho que aprender de él.

Ma. Fernanda Pillajo Martínez

Dedico este trabajo a Dios por permitirme alcanzar este objetivo, a mis padres los principales promotores de mi crecimiento profesional, quien con su apoyo incondicional han contribuido a que pueda concluir con mi formación académica. A mis hermanas que siempre han estado a mi lado y que han demostrado su afecto y cariño en cada etapa de mi vida.

Andrea Aguirre Estrada

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios, por permanecer junto a mí y protegerme en cada momento de mi vida.

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mi esposo, por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y frustraciones.

Martínez

Ma. Fernanda Pillajo

Agradezco a Dios por guiar siempre mi camino.

A mis padres por su ejemplo y constante espíritu de superación.

A nuestro director de tesis por su apoyo y conocimientos.

A las personas que han aportado con la información para poder realizar este estudio.

Estrada

Andrea Aguirre

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente al **FCNM (Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas)** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Ing. Andrea Aguirre Estrada

Ing. Ma. Fernanda Pillajo M.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M.SC Jorge Medina Sancho
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

M.SC Víctor Vega Chica
DIRECTOR DE TESIS

MSIG. Dalton Noboa Macías
VOCAL DE TRIBUNAL

AUTORES DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Ing. Andrea Fernanda Aguirre Estrada

Ing. Ma. Fernanda Pillajo Martínez

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 Justificación, Problemática y Objetivos	11
1.1 Justificación.....	11
1.2 Problemática General	12
1.3 Objetivos de la Tesis	13
1.3.1 Objetivos Generales	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO 2 Marco Teórico.....	16
2.1 Ruteo Vehicular.....	16
2.1.1 Introducción.	16
2.1.2 Descripción del Problema VRP	17
2.1.3 Problema del Agente Viajero TSP.....	20
2.1.4 Variantes del problema VRP.....	23
2.1.4.1 VRP Capacitado (CVRP).....	24
2.1.4.2 VRP con ventanas de tiempo y flota heterogénea (HFVRPTW)	26
2.2 Análisis de Selección de Flota.	29
2.2.1 Introducción	29
2.2.2 Marcas y Capacidades	30
2.2.2 Redes de servicio	31
2.2.4 Servicio Postventa	32
2.2.5 Niveles de Precio	33
CAPÍTULO 3 Implementación del Modelo VRP.....	35
3.1 Pronóstico de la demanda	35
3.2 Definición Modelo Matemático.....	42
3.2.1 Modelo VRP Capacitado con Ventanas de Tiempo para rutas locales	42
3.2.1.1 Definición Datos de entrada.....	43
3.2.1.2 Definición de variables	45
3.2.1.3 Ecuaciones y restricciones.....	45
3.2.1.4 Resultados	46
3.2.2 Modelo VRP Capacitado para rutas Interprovinciales	47
3.2.2.1 Definición Datos de entrada.....	47

3.2.2.2 Definición de variables	48
3.2.2.3 Ecuaciones y restricciones	48
3.2.2.4 Resultados	49
3.3 Selección de Flota	50
3.4 Modelo Tarifario	51
CAPÍTULO 4 Conclusiones y Recomendaciones.....	54
4.1 Conclusiones	54
4.2 Recomendaciones.....	54
Bibliografía.....	61

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema básico de un VRP	16
Figura 2.2. Diseño del Problema del Agente Viajero	20
Figura 2.3. Participación por Segmento de vehículos en el Parque Automotor 2012.	29
Figura 2.4. Red de Servicio Chevrolet	32
Figura 2.5. Red de Servicio Hino	32
Figura 2.6. Red de Servicio JAC	32
Figura 3.1. Análisis de ventas 2010 al 2012	35
Figura 3.2. Análisis de ventas mensual 2010 al 2012	36
Figura 3.3. Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación ordinaria	37
Figura 3.4. Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación estacional.....	37
Figura 3.5. Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación ordinaria y estacional	38
Figura 3.6. Autocorrelaciones de la muestra diferenciada.....	39
Figura 3.7. Autocorrelaciones parciales de la muestra diferenciada	39
Figura 3.8. Residuos del modelo (ACF)	40
Figura 3.9. Residuos del modelo (PACF)	40
Figura 3.10. Pronóstico final del modelo.....	41
Figura 3.11. Pronóstico con intervalo superior e inferior.....	42
Figura 3.12. Diseño de rutas zona Guayas.....	46
Figura 3.13. Diseño de rutas zona Manabí	49
Figura 3.14. Criterios para evaluar alternativas de ofertas de vehículos	50

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Vehículos más vendidos segmento camiones 2012	30
Tabla 2.2. Características de los modelos más vendidos de camiones Chevrolet	30
Tabla 2.3. Características de los modelos más vendidos de camiones Hino.....	31
Tabla 2.4. Características de los modelos más vendidos de camiones JAC.....	31
Tabla 2.5. Precios promedio por subsegmento 2010-2012	33
Tabla 3.1. Comparación de los modelos probados	41
Tabla 3.2. Demanda de Clientes semanal Guayas	44
Tabla 3.3. Demanda de Clientes semanal Manabí	48
Tabla 3.4. Características y precios de camiones a elegir	51
Tabla 3.5. Modelo Tarifario	52
Tabla 3.6. Comparación situación actual vs compra de camión	53

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1. Clientes Zona Guayaquil	55
Anexo 2. Clientes Zona Manabí	56
Anexo 3. Ventanas de tiempo para modelo de Transporte Local	57

CAPÍTULO 1

1. JUSTIFICACIÓN, PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS

1.1 JUSTIFICACIÓN

Dentro de la cadena de suministro, la distribución representa un eslabón muy importante que representa alrededor del 8% al 10% de los costos totales logísticos¹. Por este motivo la gestión de rutas es un aspecto fundamental en las empresas que se basan en la distribución de productos. El ruteo vehicular permite esquematizar y resolver muchos problemas referidos a la eficiencia en el transporte.

La empresa en estudio comercializa productos de diferentes divisiones de negocio: Automotriz, Herramientas Eléctricas, Baterías y Termotecnia.

Actualmente la empresa de estudio, para planificar la distribución de productos está realizando un proceso manual basado en parámetros generales y según el criterio de los involucrados en el proceso. La distribución local se realiza con una flota propia limitada y las entregas fuera de la ciudad se las ejecuta con un tercero, lo cual nos lleva también a proponer un análisis de selección de flota, de tal forma que se puedan atender rutas interprovinciales para zonas cercanas a Guayaquil, e identificar si esta opción resulta más beneficiosa que la utilización de transporte interprovincial, como se lo realiza hoy en día.

Debido a que no se cuenta con un modelo de ruteo óptimo, resulta importante para la empresa en estudio el análisis planteado en el desarrollo de esta tesis, donde se consideren restricciones propias de la compañía, como la capacidad de los vehículos, los horarios de entrega, la localización de los clientes y finalmente la decisión de atender o no una ruta en particular, buscando como objetivo la minimización de costos y tiempos de entrega.

¹ Estadísticas mensuales de la empresa en estudio.

1.2 PROBLEMÁTICA GENERAL

La distribución de los productos que comercializa la empresa en estudio, dentro y fuera de la ciudad, ha representado un problema impactante dentro del negocio, debido a que no cuenta con rutas óptimas para entregas eficientes, lo que genera costos adicionales al incurrir en viajes innecesarios e incumplimientos con las rutas planificadas; esto se traduce en pedidos sin entregar, que afectan la planificación del día siguiente. En la actualidad el porcentaje de efectividad en la entrega utilizando las rutas que se tienen, es de 85% aproximadamente.

Actualmente cuentan con una pequeña flota propia, que en muchas ocasiones no se logra optimizar al momento de diseñar las rutas, lo cual se encuentra representado por un 64% de utilización de los vehículos. Esto genera que los vehículos salgan a reparto en muchas ocasiones sin ocupar todo el espacio disponible.

Por otro lado existen días en el mes, en los cuales se tienen picos altos de facturación dentro de la ciudad de Guayaquil, y el número limitado de flotas no abastece, por lo que se tiene que contratar un transporte externo para realizar las entregas. Este escenario no es muy frecuente: de 150 pedidos 6 son distribuidos con un transporte externo, pero sí representa un costo de alrededor de USD 600.00 mensuales que se tiene que asumir.

La distribución interprovincial se realiza actualmente a través de terceros, donde no se tiene control de las entregas realizadas, como tiempos de entrega, calidad del servicio, cantidades mínimas para rutas y manipulación de carga. Esto provoca que se incurran en viajes adicionales para entregar la mercadería en las bodegas de los transportistas, e implica un costo adicional y una ruta inesperada para la planificación diaria que se realiza. De los pedidos interprovinciales aproximadamente el 42% no cumple con las cantidades mínimas impuestas.

Dentro del proceso se debe considerar los cortes de facturación los cuales generan problemas al momento de la planificación, ya que debido a los horarios establecidos no se tiene una holgura de tiempo necesaria, existiendo casos en los que se ingresan pedidos extensos. Esto dificulta el diseño manual de rutas que se realiza actualmente,

generando que se tomen decisiones inadecuadas al momento de cargar los vehículos, o que no se pueda cumplir con todas las entregas planificadas.

Adicional a esto existen clientes importantes como lo son las Grandes Superficies donde se establecen horarios fijos de entregas, donde los vehículos tienen que esperar en un rango de cero a dos horas, y esto desestabiliza el tiempo estimado para cubrir las rutas.

Todos los problemas mencionados se traducen en la insatisfacción de los clientes, ventas perdidas, extensiones en tiempos de entrega, que actualmente se aproxima a los 2.4 días, y nos colocan en desventaja respecto a la competencia, sin mencionar con los costos adicionales en los que se incurren².

1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS

1.3.1 Objetivos Generales.

- Diseñar un modelo matemático para la solución del problema de enrutamiento vehicular, que permita tomar decisiones óptimas al momento de planificar la distribución diaria de productos y minimizar tiempos.
- Realizar un estudio de factibilidad para adquirir flota propia que brinde la posibilidad de implementar la distribución en zonas interprovinciales.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Elaborar el modelo matemático VRP para el diseño de rutas considerando restricciones de capacidad de flota, distancias entre clientes y zonas a cubrir, teniendo como función objetivo minimizar tiempos.
- Realizar el pronóstico de la demanda para los próximos 3 años mediante un modelo de regresión, usando información histórica de ventas por clientes,

² Los datos señalados en la Problemática representan el comportamiento de las entregas en los últimos meses de la empresa en estudio.

zonas y tipo de producto, con el fin de analizar su crecimiento, para considerar la opción de adquirir flota propia y analizar variaciones en la distribución de Guayaquil.

- Seleccionar la flota a adquirir mediante un análisis costo – beneficio, tomando en cuenta características de los nuevos vehículos, costos a incurrir, capacidad y ahorros a obtener.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ruteo Vehicular VRP

2.1.1 Introducción

El problema del ruteo vehicular tuvo sus orígenes con los estudios realizados por Dantzing y Ramser en los años cincuenta, donde analizaron una formulación del problema para una aplicación de distribución de combustible. Luego, Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para su resolución: el popular Algoritmo de Ahorros. Por último metaheurísticas como: Recocido Simulado, Genéticos, Búsqueda tabú, Genéticos, Colonia de hormigas. [1]

Este problema de ruteo se encuentra en general en diferentes áreas de la cadena de suministro, como por ejemplo transporte y distribución. El transporte represente un rubro importante dentro del costo de los productos a distribuirse, pero mediante una óptima planificación de las entregas se puede convertir en un valor agregado. A través de software existentes se pueden calcular rutas cercanas a las óptimas logrando ahorros importantes en los costos.

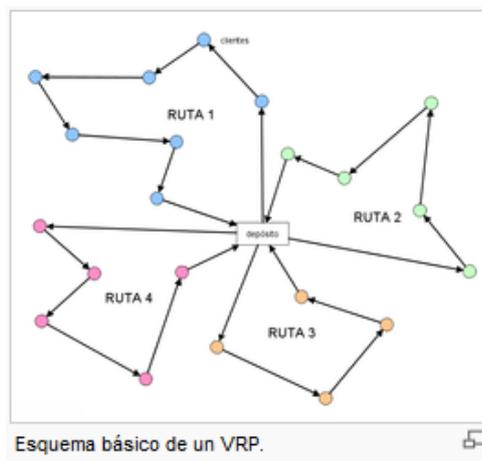


Figura 2.1 – Esquema básico de un VRP

2.1.2. Definición del problema VRP

El problema VRP se define como la determinación de la ruta óptima para una flota de vehículos que parten de uno o más depósitos para satisfacer la demanda de varios clientes dispersos geográficamente. [4]

El problema VRP está caracterizado por variantes o parámetros para el análisis de la solución óptima. Estas variantes son:

- Red Vial:
 - Representada por medio del grafo $G = (V,A)$, siendo V un conjunto de nodos que representan a los clientes o depósitos, y A un conjunto de secciones de vías.
 - Estas secciones pueden ser direccionales o bidireccionales.
 - A cada sección se le asocia un costo (longitud, tiempo de viajes, etc) el mismo que puede estar en función de parámetros.
- Clientes:
 - Demanda de cada cliente, la cual deberá ser satisfecha por algún vehículo
 - Usualmente cada cliente es visitado una vez, sin embargo hay casos en la demanda de los clientes puede ser satisfecha en momentos diferentes y por vehículos diferentes
 - Ventanas de tiempo: los clientes podrán tener restricciones relacionadas con el horario de servicio, las que se expresan como intervalos de tiempo llamadas ventanas de tiempo en las que se puede arribar al cliente
 - Tiempo de servicio
 - Subconjunto de vehículos habilitados: cuando existen diferentes vehículos en la flota suelen darse restricciones de compatibilidad entre estos y los clientes, por ejemplo hay casos donde cada cliente puede ser visitado por un vehículo en particular ya que hay vehículos muy pesados que no pueden entrar en ciertas localidades.

- Vehículos:
 - Capacidad, que puede tener varias dimensiones como por ejemplo peso y volumen.
 - Subdivisiones de los vehículos en compartimentos: cuando en un mismo problema existen diferentes mercaderías los vehículos podrían tener compartimentos, de modo que la capacidad del vehículo dependa de la mercadería que se cargue.
 - Subconjunto de secciones de la red vial que pueden ser utilizados por determinados vehículos.
 - Costos fijos por utilización y costos variables que depende de las distancias recorridas.
 - Existen problemas en que las características de los vehículos son las mismas y se los denomina flota homogénea, y si hay diferencia entre ellas flota heterogénea.
 - El objetivo más usual es minimizar la cantidad de vehículos y luego minimizar las distancias recorridas.
 - Regulaciones legales: pueden darse restricciones como, que los vehículos puedan circular por ciertas zonas o el tiempo máximo en circulación.
- Depósitos:
 - Usualmente sucede que cada ruta comience y finalice en un mismo depósito aunque podría presentarse el caso de que termine en una ubicación diferente como por ejemplo el domicilio del conductor.
 - Capacidad: se puede dar que existan limitaciones de los propios depósitos donde podría querer evitarse que varios vehículos estén operando a la vez, es decir cogestión del depósito.
 - Multidepósitos: cuando existe más de un depósito, cada uno puede tener una flota de vehículos asignada o puede ser una de variables a determinar dentro del problema de ruteo.
 - Los depósitos podrían también tener ventanas de tiempo, ya sea para cargar el vehículo antes de la ruta, o el tiempo que se invierte en la limpieza al regresar.

Además se pueden considerar restricciones operacionales dadas por contratos o políticas de la empresa, y la naturaleza de los bienes, nivel de servicio establecido y características de los clientes y vehículos.

Los objetivos más usuales del VRP son la minimización de los costos totales de transporte, minimización del número de vehículos requerido, optimización de las rutas y minimización de las penalizaciones por parte de los clientes. [5]

La disminución de los costos de los procesos logísticos relacionados con el transporte, aplicando estrategias y administrando de manera eficiente los recursos asociados a este servicio han hecho resurgir el VRP (VehicleRoutingProblem) como una necesidad actual.

Este capítulo analizará varias teorías relacionadas al Diseño de Rutas con diferentes limitantes, lo cual representa una variedad de problemas de toma de decisiones, tales como: determinar el tamaño de la flota y su composición, definir las rutas y la programación de los vehículos, y la localización de las instalaciones ya sean los depósitos o los clientes.

2.1.3 Problema de agente viajero TSP

El problema del TSP (TravelingSalesmanProblem)³ es un caso particular de los problemas de transporte, donde se determina un recorrido que minimice la distancia total necesaria para visitar todas las ciudades de la zona, empezando por una ciudad concreta, pasando por cada una de las demás ciudades una sola vez, y volviendo finalmente a la primera.

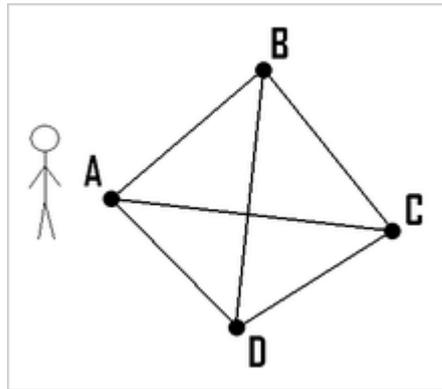


Figura 2.2 - Diseño del Problema del Agente Viajero

Según la teoría de grafos el objetivo es encontrar, en un grafo completamente conexo y con arcos ponderados, el ciclo hamiltoniano a menor costo, donde cada vértice del grafo representa una ciudad, cada arco representa un camino y el peso de cada arco la distancia entre cada punto.

Entre los métodos de solución a los problemas de ruteo vehicular existen algoritmos exactos utilizados para problemas con pocos clientes, algoritmos aproximados que pueden ser heurísticas o metaheurísticas.

Las heurísticas son algoritmos o procedimientos simples que no resuelven problemas de gran tamaño y no aseguran encontrar la solución óptima global, pero sí una más cercana. Estas heurísticas se clasifican en [2]:

- Algoritmos constructivos (golosos)

³ TSP.- TravelingSalesmanProblem, desarrollado por Dantzing, Fulkerson y Johnson.

- Algoritmos de descomposición y división
- Algoritmos de reducción
- Algoritmos de manipulación del modelo
- Algoritmos de búsqueda usando vecindad

Las metaheurísticas son procedimientos más complejos y se aplican a problemas que no tienen un algoritmo o heurística específica que dé una solución satisfactoria, explorando el espacio de solución de una manera más amplia. Algunas metaheurísticas conocidas son [3]:

- Algoritmos de enjambre
 - Optimización basada en colonia de hormigas
 - Algoritmos basados en nubes de partículas
- Algoritmos evolutivos (basados en poblaciones)

El TSP se encuentra entre los problemas NP-completos, donde son más difíciles encontrar técnicas más exactas para encontrar las soluciones óptimas, y donde entran las heurísticas para la obtención de soluciones de mejor calidad.

Hoy en día estos problemas son resueltos de forma aproximada y eficiente con adaptaciones de algoritmos aplicados al TSP mediante la incorporación de metaheurísticas híbridas o unión de algoritmos exactos y aproximados.

Por la complejidad de estos problemas, no siempre es posible usar algoritmos exactos, por lo que son tratados con algoritmos aproximados cuyas soluciones, sin ser óptimas se aproximan y se obtienen en tiempos aceptables.

Modelo del problema:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} x_{ij}$$

$$s. a. \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2.1)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (2.3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (2.4)$$

Esta formulación fue propuesta por Dantzig, Fulkerson y Johnson. Las variables binarias x_{ij} indican si el arco (i, j) es utilizado en la solución. La función objetivo 2.1 establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las restricciones 2.2 y 2.3 indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Finalmente, las restricciones 2.4 son llamadas restricciones de eliminación de sub-tours e indican que todo subconjunto de nodos S debe ser abandonado al menos una vez. Notar que si no se impusieran estas restricciones la solución podría constar de más de un ciclo.

2.1.4 Variantes del Problema VRP

De acuerdo a cada caso de problemas de ruteo, existen las siguientes variantes al modelo VRP, dadas en su mayoría por los casos de restricciones adicionales que se le colocan al problema:

- VRP con múltiples depósitos (MDVRP): Se cuenta con múltiples depósitos para atender a los clientes, por lo que se necesita asignar a qué cliente atenderá cada depósito y cuál será la flota designada a cada uno de ellos.
- VRP periódico (PVRP): Generalmente en los problemas de rutas tradicionales VRP el periodo de planeación es de un solo día, en este caso periódico el modelo se extiende a un período de planeación de M días.
- VRP de entrega dividida (SDVRP): Se considera que un cliente puede ser atendido por varios vehículos siempre que se reduzcan los costos de operación.
- VRP estocástico (SVRP): Se considera que algunos de sus componentes son estocásticos (clientes, demandas, tiempos).
- VRP con recogidas y entregas (VRPPD): En este caso se debe encontrar la ruta óptima con la posibilidad de recoger, en caso de devoluciones, y entregar mercaderías.
- VRP con backhauls (VRPB): En este caso con retornos, los consumidores pueden retornar algunas mercancías. El supuesto más crítico en lo que respecta a todas las entregas, es que éstas deben ser realizadas en cada ruta antes de que alguna recogida pueda ser iniciada. Las cantidades a ser distribuidas y recogidas son fijas y conocidas con anticipación.
- VRP con ventanas de tiempo (VRPTW): En estos casos se debe encontrar una ruta óptima considerando que cada cliente tiene una ventana horaria con hora de inicio y hora de fin, y los vehículos solo pueden hacer sus entregas en ese rango de tiempo.
- VRP capacitado (CVRP): Se debe considerar un conjunto de vehículos, donde cada uno tiene una capacidad, para encontrar la ruta óptima, sin exceder la capacidad del camión.

- VRP con ventanas de tiempo y flota heterogénea (HFVRPTW): Este caso considera los vehículos con capacidades y costos diferentes, además de que cada cliente tiene una ventana horaria.

2.1.4.1 VRP capacitado (CVRP)

La variante más genérica y práctica que se introduce es la capacidad de los vehículos en la que la carga de las mercancías, la cual no podrá exceder una capacidad fijada para cada vehículo de la flota. Esta se convierte en restrictiva para la formulación.

El Problema CVRP básico trata de determinar los recorridos de k vehículos de capacidad c_k que partiendo de un origen común deben pasar por un conjunto de lugares de interés (clientes) para recoger o distribuir mercancías según una demandad i , y volver de nuevo al origen de manera que la distancia total recorrida (el coste o el tiempo empleado) por el conjunto de vehículos sea mínima.

La función objetivo para el problema CVPR podría variar dependiendo del problema a solucionar:

- Minimizar el número total de vehículos (o conductores) requeridos para dar servicio a todos los clientes.
- Minimizar los costes fijos asociados con el uso de los vehículos (o los conductores)
- Minimizar el coste total de transporte (coste fijo más variable de la ruta)
- Balancear las rutas, por tiempo de viaje o carga de vehículo
- Minimizar las penalizaciones asociadas para un servicio parcial a los clientes

Modelo del problema:

Función objetivo:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \sum_{k \in 1}^K x_{ij} \quad (2.5)$$

Sujeto a las restricciones:

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad i \in V \setminus \{0\} \quad (2.6)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{y0k} = K \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1 \dots K \quad (2.8)$$

$$\sum_{i \in V} d_i y_{ik} \leq c_k \quad \forall k = 1 \dots K \quad (2.9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k=1, \dots, K \quad (2.10)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, k=1, \dots, K \quad (2.11)$$

Para un conjunto i, j de nodos del grafo, se expresa la función objetivo que intentará minimizar el coste total de todos los arcos recorridos en la solución. La variable binaria x_{ijk} indica si el vehículo k tendrá una ruta utilizando el arco ij . Mientras, la variable binaria y_{ik} indica si el nodo i con demanda d_i será atendida por el vehículo k con capacidad c_k . Como se puede ver en la primera restricción cada nodo cliente deberá ser atendido únicamente por un vehículo (en el problema básico CVRP). En cambio del nodo origen 0 pueden partir todos los vehículos K de la flota. A continuación aparecen las restricciones de continuidad donde el vehículo que llegue a un cliente deberá también partir desde él. Tan sólo faltan las restricciones de capacidad: la demanda

atendida por un vehículo (suma de d_i) no debe exceder su capacidad c_k . En el caso en que todos los vehículos tengan la misma capacidad, los valores c_k serán iguales [6].

2.1.4.2 VRP con ventanas de tiempo y flota heterogénea (HFVRPTW)

El problema de diseño de rutas considerando Ventanas de tiempo y Flota Heterogénea es una variante del VRP, que combina problemas de ruteo con problemas de planificación, en aplicaciones del mundo real.

La solución a este problema debe minimizar los costos mediante el diseño de rutas para los diferentes vehículos, y estaría sujeto a [7]:

- Cada cliente debe ser visitado solo uno vez por alguno de los vehículos
- Cada ruta debe iniciar y terminar en el origen
- Se debe satisfacer la demanda de cada cliente de tal forma que la suma de las demandas de una ruta diseñada no exceda la capacidad del vehículo asignado a esa ruta
- Cada cliente tiene asignado un intervalo de tiempo en el que puede ser visitado, así como un tiempo de servicio en cada cliente.
- Existen relaciones de precedencia entre los clientes.

Modelo del problema:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (2.12)$$

s.a

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (2.13)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.14)$$

$$\sum_{i \in \Delta^+(0)} x_{in+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.15)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{n+1j}^k = 0 \quad \forall k \in K \quad (2.16)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ji}^k = 0 \quad \forall k \in K \quad (2.17)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0, n+1\}} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k \leq q^k \quad \forall k \in K \quad (2.18)$$

$$y_j^k - y_i^k \geq s_i + t_{ij}^k - M(1 - x_{ij}^k)$$

$$\forall i, j \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (2.19)$$

$$e_i \leq y_i^k \leq l_i \quad \forall i, i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (2.20)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in V, k \in K \quad (2.21)$$

$$y_i^k \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (2.22)$$

La red de transporte por la que circulan los vehículos se modela mediante un grafo ponderado $G = (V, E, C)$ de tamaño $n+2$. Los nodos del grafo representan a los clientes y depósitos. Los puntos $\{0, n+1\}$ representan al depósito, los nodos $V = \{1, \dots, n\}$ a los

clientes y el conjunto k representa a los vehículos en una flota heterogénea. Cada arco $(i,j) \in E$ representa el mejor camino para ir desde el nodo i hacia el nodo j en la red de transporte y tiene asociado un costo c_{ij}^k y un tiempo de viaje t_{ij}^k . Puede suponerse que G es completo, pues entre todo par de lugares de una red de transporte razonable, debería existir algún camino. Denotaremos por $\Delta^+(i)$ y $\Delta^-(i)$ al conjunto de nodos adyacentes e incidentes al nodo i , es decir, $\Delta^+(i) = \{j \in V \mid (i,j) \in E\}$ y $\Delta^-(i) = \{j \in V \mid (j,i) \in E\}$. Cada cliente $i \in V \setminus \{0, n+1\}$ tiene asociada una demanda d_i , también tiene asociada una ventana de tiempo $[e_i, l_i]$ que establece un horario de servicio permitido para que un vehículo arribe a él y un tiempo de servicio o demora s_i y cada vehículo tiene una capacidad q^k , utilizando como base, podemos formular de la siguiente manera:

Las variables x_{ij}^k indican si el arco (i,j) es recorrido por el vehículo k . Las variables y_i^k indican aproximadamente la hora de arribo al cliente i cuando es visitado por el vehículo k (si el cliente no es visitado por dicho vehículo el valor de la variable no tiene significado). La función objetivo (2.12) es el costo total de las rutas. La restricción (2.3) indica que todos los clientes deben ser visitados. Las restricciones (2.14), (2.15) y (2.16) determinan que cada vehículo $k \in K$ recorre un camino de 0 a $n+1$. La restricción (2.17) evita que cualquier vehículo k salga de $n+1$ y por lo tanto envíe más de uno (esta restricción no se considera en modelos actuales, es necesaria para que no se asignen salidas de vehículos al nodo $(n+1)$). La capacidad de cada vehículo es impuesta en (2.18). Siendo M una constante lo suficientemente grande, la restricción (2.19) asegura que si un vehículo k viaja de i a j , no puede llegar a j antes que $y_i + s_i + t_{ij}^k$, y actúan además como restricciones de eliminación de subtours. Finalmente, los límites de las ventanas de tiempo son impuestos en (2.20), (2.21) y (2.22).

2.2 ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE FLOTA

2.2.1 Introducción

De acuerdo a la información emitida de la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador)⁴ respecto al 2012, se concluyó que el mercado automotriz nacional registró una reducción del 13% en sus ventas de vehículos en comparación con el año 2011. Esto corresponde a 18,059 unidades menos de vehículos, tomando en cuenta una venta de 121,446 unidades de nuevos vehículos, sin considerar motocicletas.

En la participación por provincias las ventas se concentran principalmente en Pichincha con el 40.1%, y en Guayas con el 26.9%.

A diferencia del resto de segmentos, el de camiones es el único que experimentó un crecimiento del 1,88%, con una participación en el 2012 del 9%, entre automóviles, SUV's, camionetas, VAN's y buses.

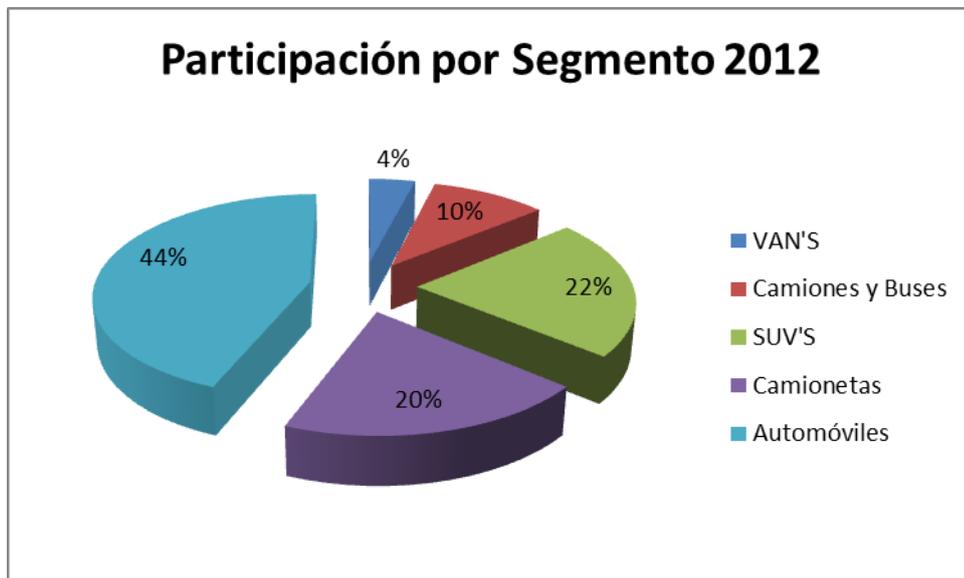


Figura 2.3 – Participación por Segmento de vehículos 2012 / Fuente: AEADE

⁴ AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador – Anuario 2012

2.2.2 Marcas y capacidades

En el año 2012 los vehículos pesados más vendidos, según la AEADE, fueron los siguientes:

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	NLR	1,175
CHEVROLET	NPR	545
JAC	HFC	526
HINO	FC9JISA	519
HINO	XZU413	517

Tabla 2.1

En la marca Chevrolet los vehículos Serie N cuentan con 4 modelos, entre los cuales se encuentran los NLR y NPR. Cada uno de ellos con características diferentes, que se detallan a continuación:

CARACTERÍSTICAS	NLR 55E	NPR 75H
Marca / Código	ISUZU 4JB1-TC	ISUZU 4HK1-TCN
Tipo	TURBO, INTERCOOLER	TURBO, INTERCOOLER COMMON RAIL
Desplazamiento (cc)	2,771	5,193
Nro. de Cilindros	4 en línea	4 en línea
Potencia (HP @ RPM)	91 @ 3400	150 @ 2600
Torque (kg*m) @ RPM)	20 @ 2000	41 @ 1600
Torque (N.m @ RPM)	196 @ 2000	404 @ 1600
Combustible	Diesel	Diesel
Peso Bruto Vehicular (PBV) kg	4,600	8,165
Capacidad de carga kg	2,840	5,500

Tabla 2.2 – Características de los modelos más vendidos de camiones Chevrolet

En relación a los camiones Hino, los modelos más vendidos se detallan a continuación con sus características:

CARACTERÍSTICAS	FC9JJA	XZU413
Tipo	Inyección electrónica de riel común	Watercooled direct injection
Desplazamiento (cc)	5,123	4,009
Potencia (HP @ RPM)	180 @ 2,500	103 @ 2,500
Torque (N.m @ RPM)	510 @ 1,500	398 @ 1,600
Combustible	Diesel	Diesel
Peso Bruto Vehicular (PBV) kg	10,400 Kg	6,500 Kg
Capacidad de carga kg	8,000 Kg	3,635 Kg

Tabla 2.3 – Características de los modelos más vendidos de camiones Hino

Por último los camiones JAC, como otro de los modelos más vendidos, tiene las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS	HFC
Tipo	De eje central con doble sincronización
Desplazamiento (cc)	9,726
Potencia (HP @ RPM)	330 @ 2,100
Torque (N.m @ RPM)	127.5 @ 1,400
Combustible	Diesel
Peso Bruto Vehicular (PBV) kg	27,000 Kg
Capacidad de carga kg	17,000 Kg

Tabla 2.4 – Características de los modelos más vendidos de camiones JAC

2.2.3 Redes de servicio

De estas marcas reconocidas, se cuenta con varios concesionarios a nivel nacional, de tal forma que sus mantenimientos pueden realizarse donde se considere según la flota a seleccionar. Principalmente se realizarían en la ciudad de Guayaquil.

Los concesionarios de dichas marcas se encuentran marcados en los siguientes mapas, con el fin de dar una idea clara de su presencia en el país.

CHEVROLET

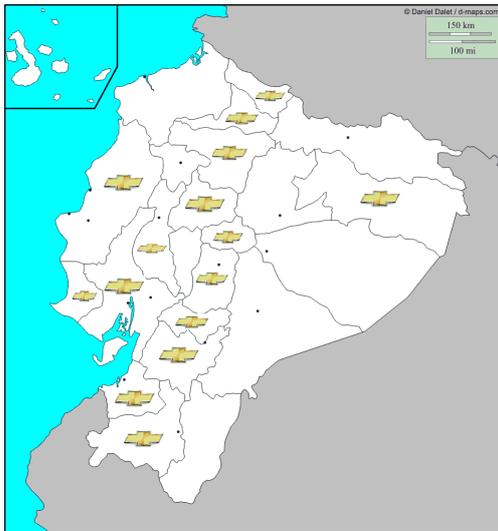


Figura 2.4. – Red de Servicio

HINO

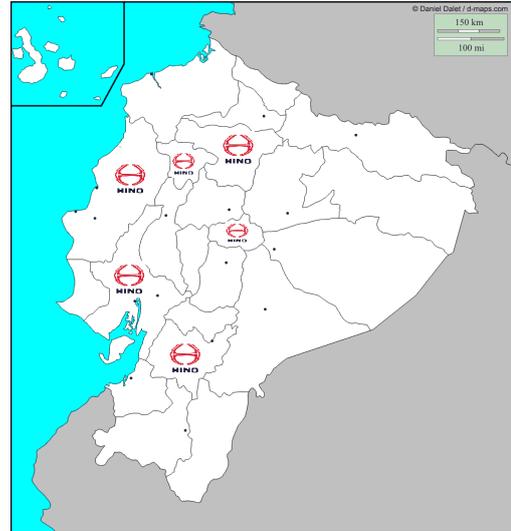


Figura 2.5. – Red de Servicio Hino

JAC

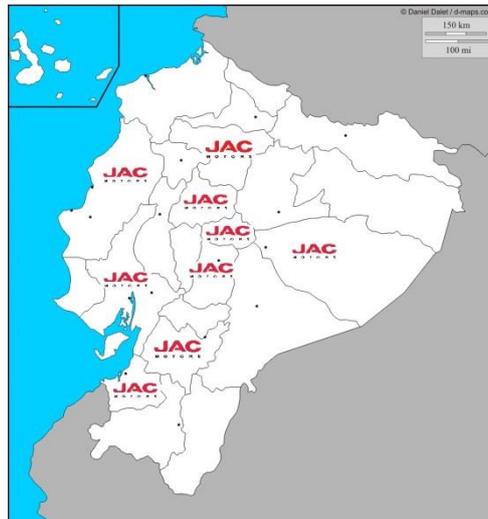


Figura 2.6. – Red de Servicio JAC

2.2.4 Servicio Postventa

El servicio Postventa para el mantenimiento de los vehículos se pueden realizar en cada uno de los concesionarios de las marcas mencionadas. Estos mantenimientos que ofrecen los diferentes talleres autorizados incluyen los siguientes servicios:

- Revisión del Motor: Cambio de aceite motor y filtro de aceite, Limpieza de filtro de aire, Niveles de fluidos, Sistema de aire acondicionado, etc
- Revisión de Caja de cambios y transmisión
- Revisión del Sistema de frenos
- Revisión del Sistema eléctrico

- Revisión de Suspensión y Llantas

2.2.5 Niveles de precio

Dentro del segmento de camiones se consideran varios niveles de precios promedios según los tipos de vehículos pesados. A continuación se muestra un detalle según la AEADE:

PRECIOS PROMEDIO POR SUBSEGMENTO 2010-2012 EN USD

SEGMENTO	SUBSEGMENTO	2010	2011	2012
CAMIONES	Liviano	28,299	33,201	33,680
	Mediano	55,897	52,987	53,100
	Pesado	94,496	87,906	95,755
	Tracto	111,921	102,249	110,718
	Ultraliviano	25,433	25,934	26,256

Tabla 2.5. – Precios Promedio por Sub-segmento en USD 2010 a 2012

CAPÍTULO 3

3. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO VRP

3.1 Pronóstico de la demanda

Para poder realizar el análisis del ruteo vehicular se consideró necesario generar una proyección de la demanda con la finalidad de analizar el crecimiento del negocio así como el aumento del volumen de los pedidos y de esta forma prever la cantidad de vehículos necesarios para cubrir la demanda en las zonas de Guayaquil y provincias aledañas.

Para este pronóstico se ha utilizado información de ventas consolidadas por todas las principales líneas de negocios de la empresa en estudio, considerando ventas mensuales de los últimos 3 años.

La proyección fue realizada utilizando el software de análisis estadístico y gráfico R. Una vez ingresada la data se pudo obtener el siguiente comportamiento:

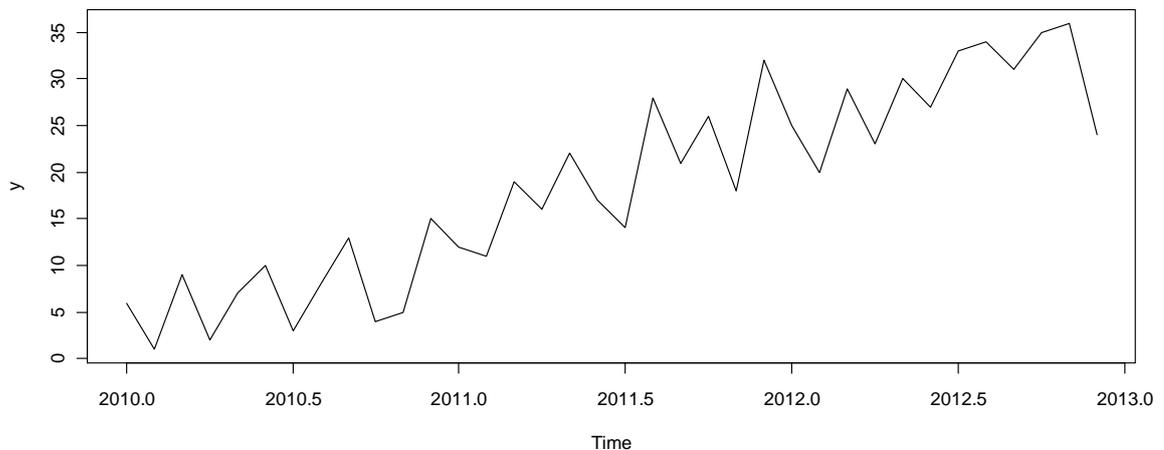


Figura 3.1. – Análisis de ventas 2010 al 2012

Al graficar los datos se puede apreciar que se presenta un tendencia creciente y una leve estacionalidad, por lo que se analizará los efectos por separado.

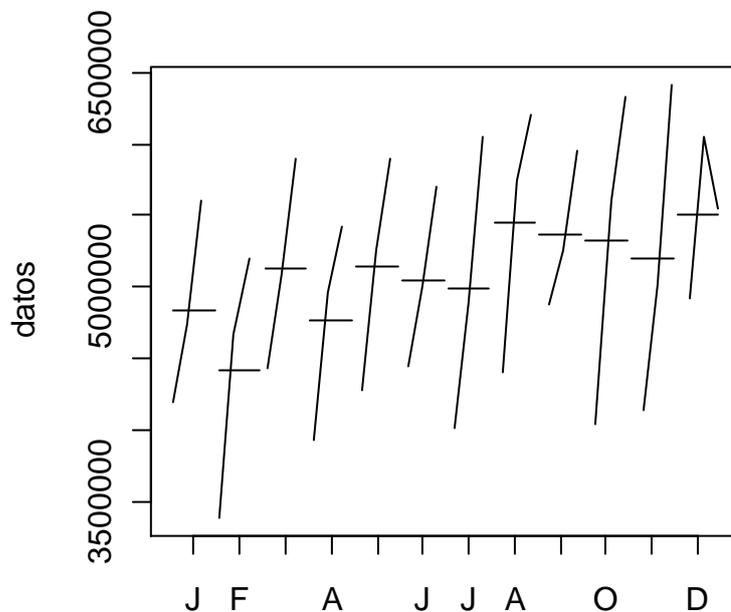


Figura 3.2. – Análisis de ventas mensual 2010 al 2012

Al realizar el gráfico en meses, nos indica que en todos los años analizados (2010-2012) el mes de Octubre y Noviembre han sido los de mayor ventas, dado que los productos que comercializa la empresa en estudio repuestos automotrices, tienen mejor movimiento en estos meses, por el contrario los meses de menor venta son Enero y Febrero, que son meses posteriores a las fiestas de navidad.

Dado que existe una tendencia marcada en los datos para poder atenuarla, se diferencia de manera ordinaria. Al realizarlo tenemos los siguientes resultados:

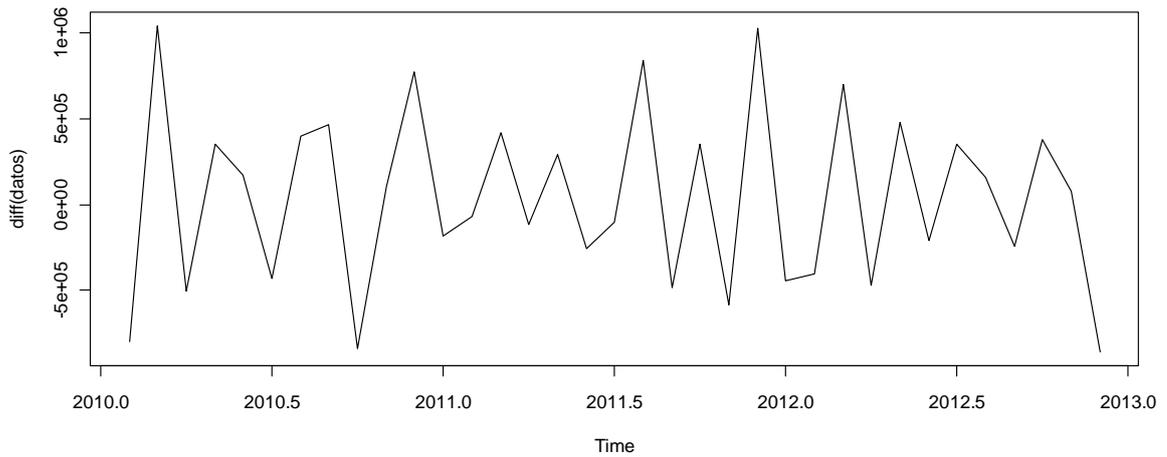


Figura 3.3. – Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación ordinaria

Al revisar los datos, se puede observar que aún no son estacionarios ya que deben mantener una media y varianza constante, y en este caso la variabilidad va aumentando.

En vista que se presenta este escenario se realiza una diferenciación estacional, dado que en el gráfico del Monthplot pudimos ver estacionalidad en meses entre cada año y mediante esta diferenciación se resta la observación actual y la observación hace 12 periodos para poder disminuir este efecto.

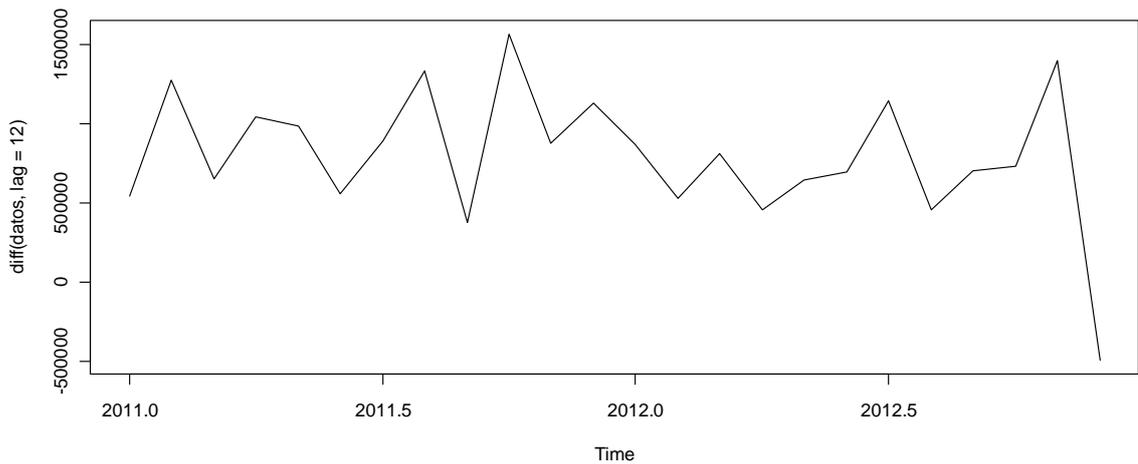


Figura 3.4. – Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación estacional

Al analizar este gráfico, se puede observar que la varianza ha disminuido y se mantiene un poco constante, únicamente a mediados del año 2011 y a inicios del 2012 se presenta una alta varianza, salvo estos casos se puede asumir que se mantiene una varianza constante.

Se procede a realizar una diferenciación ordinaria a la serie estacionaria, para ver la posibilidad de disminuir aún más el efecto de variabilidad y se obtiene el siguiente resultado:

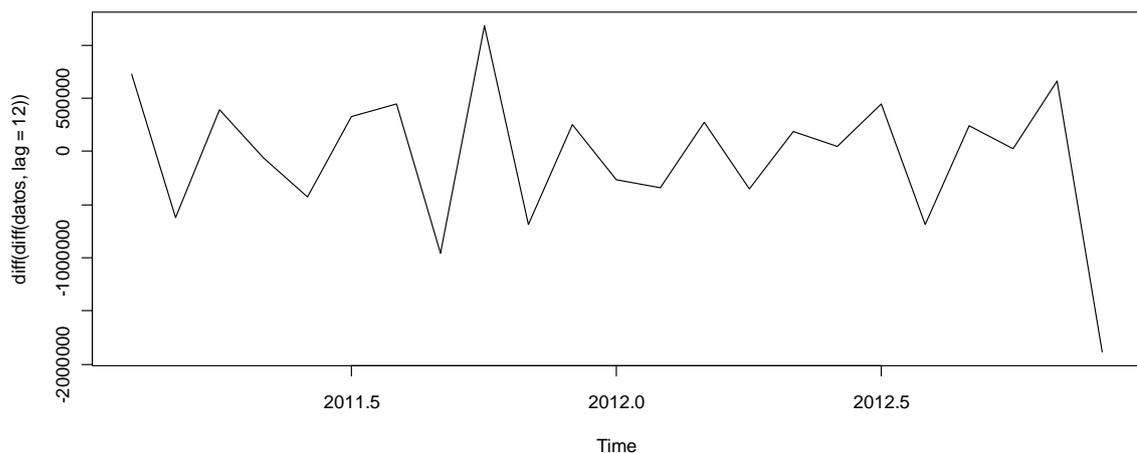


Figura 3.5. – Análisis de estacionalidad de datos con diferenciación ordinaria y estacional

Al observar la serie se puede notar que existió una mejora en la varianza aunque los comportamientos en los años 2011 y 2012 aún persisten, el resto de datos se han ajustado mejor y giran más en relación a la media.

Dado este resultado se puede continuar con estos datos, ya que presentan las propiedades para que sean estacionarios.

Para poder analizar el modelo a utilizar se procede a verificar las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales, de la serie final que corresponde a la diferenciada ordinaria y estacionalmente.

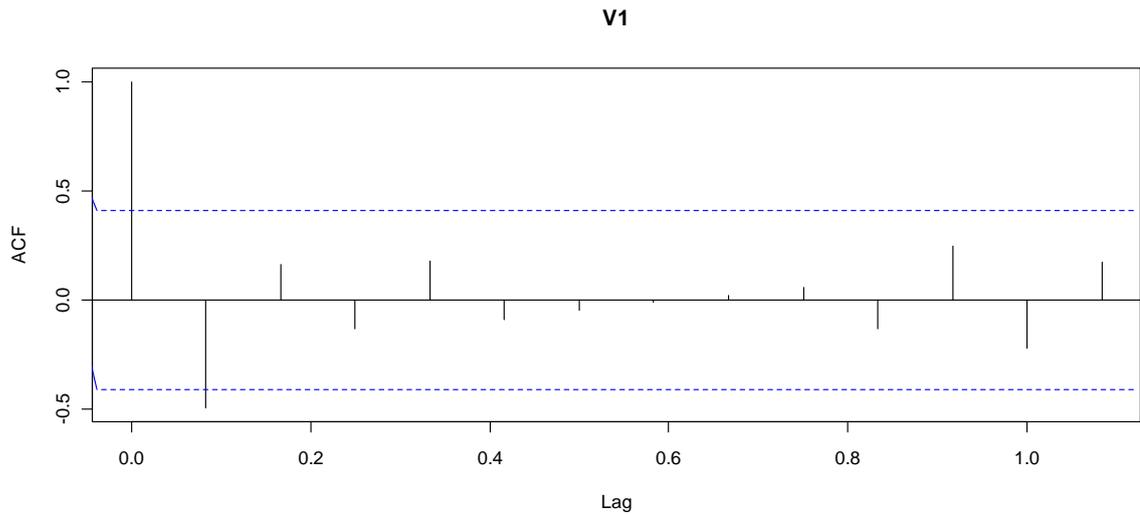


Figura 3.6. – Autocorrelaciones de la muestra diferenciada

Mediante el gráfico ACF, correspondiente a las autocorrelaciones, podemos ver que se puede ajustar un modelo MA de orden 1, dado que se tiene un dato significativo y el resto son cero.

Para poder asegurar que sea un modelo MA, debemos verificar las autocorrelaciones parciales, las cuales deberían decaer exponencialmente.

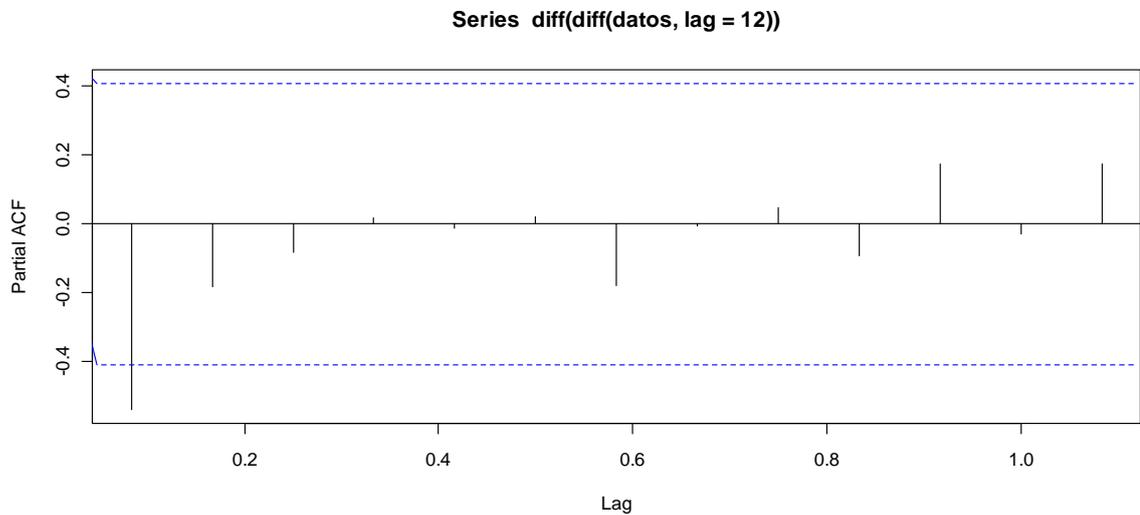


Figura 3.7. – Autocorrelaciones parciales de la muestra diferenciada

Se puede observar que las autocorrelaciones decaen exponencialmente lo que indica que podría ser un modelo MA, aunque también se podría probar un modelo AR de orden 1, ya que según el gráfico podemos apreciar que el primer dato es significativo.

Dado estas conclusiones podemos probar el siguiente modelo:

Modelo: $c(0,1,1),c(0,1,0)$

La primera parte del modelo corresponde a la parte ordinaria representada por un modelo MA, ya que al analizar el gráfico de las autocorrelaciones, sólo existió un valor significativo y el resto eran cero, a su vez el gráfico de las autocorrelaciones parciales nos indicó un decaimiento exponencial lo que nos sugiere probar un modelo MA.

Para poder evaluar la efectividad del modelo se puede usar el criterio de la varianza, pero dado que la varianza no es el único parámetro para evaluar un modelo se usa el AIC (Criterio de información de Akaike), el cual cita el principio de parsimonia que dice que en igualdad de condiciones un modelo más simple es mejor.

Es necesario revisar que los residuos no tengan correlación ya que si queda correlación en significa que se puede mejorar el modelo considerando esa correlación.

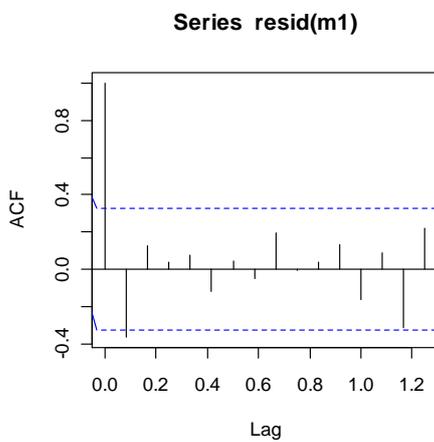


Figura 3.8. – Residuos del modelo (ACF)

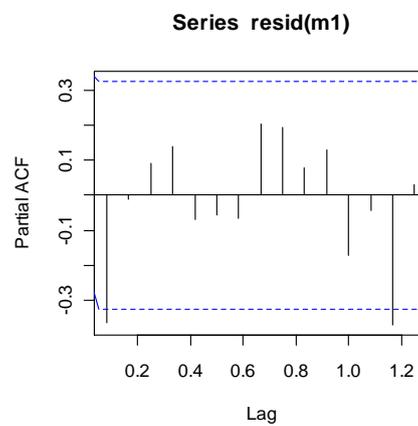


Figura 3.9. – Residuos del modelo (PACF)

Se puede apreciar que no existen autocorrelaciones entre los residuos por lo que se pensaría que es un buen modelo.

Para definir el modelo correcto se prueba con un modelo más, M2 ajustando un modelo AR de orden 1 y se comparan los AIC las varianzas y las pruebas de Box Test

<i>Modelos</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>q</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>Q</i>	<i>AIC</i>	<i>Sigma 2</i>	<i>Box Test</i>
m1	0	1	1	0	1	0	668.5	1,90E+14	0.6848
m2	1	1	0	0	1	0	670.07	2,10E+14	0.6572

Tabla 3.1. – Comparación de los modelos probados

Se revisan los gráficos de los residuos para que no exista correlación entre los errores, y se pudo comprobar que los errores se mantienen dentro la banda de los valores no significativos, adicional se realizó la prueba de Box Test y mediante los resultados se puede concluir que no existe evidencia de que los errores sean diferentes de cero.

Analizando los AIC y las varianzas se puede escoger el modelo 1, por lo que se procede a realizar el pronóstico con el modelo escogido

Pronóstico M1:

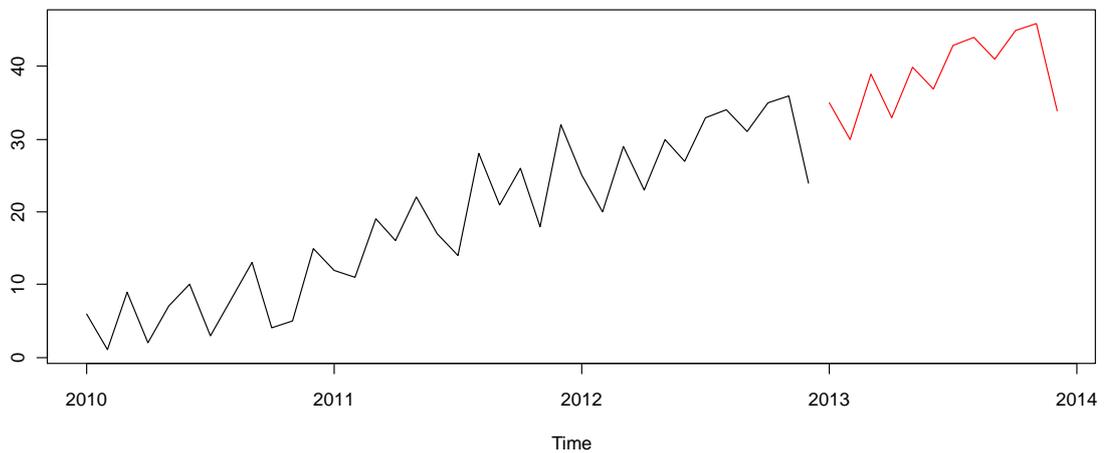


Figura 3.10. – Pronóstico final del modelo

Mediante el modelo 1 se realiza la predicción para el año siguiente, se puede observar que tiene una predicción acertada.

Se analiza los límites superior e inferior para ver que tan alejada está la predicción y se obtiene el siguiente gráfico:

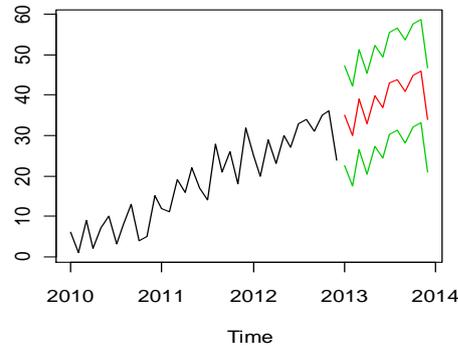


Figura 3.11. – Pronóstico con intervalo superior e inferior

Mediante el gráfico se puede observar que tan alto o bajo puede llegar a estar el pronóstico del modelo escogido, concluyendo que el modelo se ajusta a los datos ya que tienen unos límites moderados.

3.2 Definición Modelo Matemático

Para el problema de transporte que se analiza en este proyecto, se adaptan dos modelos de ruteo: para el caso de transporte local se considera un modelo de ruteo CVRPTW (Capacitado con ventanas de tiempo), dada la capacidad que se analizará de los vehículos a utilizar y los horarios en entregas que tienen actualmente; para el caso del ruteo interprovincial se adapta un modelo CVRP capacitado ya que se usarán para analizar los vehículos necesarios para poder cubrir estas rutas.

3.2.1 Modelo VRP Capacitado con Ventanas de Tiempo para rutas locales

Para desarrollar el análisis de ruteo local correspondiente a la ciudad de Guayaquil se escoge el modelo CVRPTW, considerando que para la caso de la empresa en estudio se tiene capacidad de vehículos y ventas de tiempo.

3.2.1.1 Definición Datos de entrada

Cientes (i,j)

Se realizó un ABC de clientes para escoger aquellos que tengan mayor importancia dentro de la empresa, el 80% de los clientes más representativos.

De este 80% se escogió una muestra de 15 clientes más destacados para la empresa tratando de obtener una muestra que se adapte a las limitaciones relativas al número de variables y elementos de GAMS, pero que describa la realidad del negocio.

Demanda (i)

La demanda se encuentra expresada en kilos que solicita cada cliente y que es necesario transportar.

Se consideran los productos que más comercializa cada cliente de la muestra para obtener la demanda semanal en kilos (Anexo demanda kg clientes por línea de producto).

Se usa el pico más alto del pronóstico de ventas expresado en dólares anteriormente obtenido y se pondera para cada cliente de acuerdo a su participación en el negocio, de esta forma se obtiene la posible demanda en dólares del próximo año.

Esta demanda pronosticada en dólares es transformada a kilos, para cada cliente de la muestra obtenida, dando como resultado los potenciales pedidos semanales que se tendrán que transportar y sobre los cuales se definirán las rutas óptimas.

Al escoger el pico más alto en ventas se prevé que las rutas obtenidas podrán satisfacer el más alto impacto en ventas.

Cliente	Demanda Kg	Provincia	Participación	Demanda Kg pronosticada
C1	156.42	Guayas	2.2%	327.25
C2	255.67	Guayas	2.7%	340.62
C3	578.46	Guayas	6.5%	524.59
C4	469.04	Guayas	6.7%	214.88
C5	379.44	Guayas	2.0%	659.03
C6	343.14	Guayas	4.0%	595.16
C7	2.23	Guayas	0.7%	75.48
C8	10.56	Guayas	0.4%	16.30
C9	59.12	Guayas	0.4%	60.94
C10	253.99	Guayas	1.5%	212.02
C11	53.65	Guayas	0.5%	74.65
C12	114.72	Guayas	1.6%	40.55
C13	121.56	Guayas	1.1%	83.73
C14	240.27	Guayas	2.6%	209.26

Tabla 3.2. – Demanda de clientes semanal

Ventanas (i, límites):

Las ventanas de tiempo consideradas en el modelo VRP corresponden al ruteo local y realmente son suaves debido a que corresponden a los cortes de facturación que tiene la empresa, actualmente existen dos cortes: mañana y tarde lo que implica que la salida de los vehículos para reparto se realizarán en estos dos periodos de tiempo.

Existe un cliente para la empresa que tiene ventanas fijas debido a que tiene horarios para sus entregas, las mismas se encuentran consideradas dentro de los datos del modelo.

La matriz ventanas consta de un límite superior e inferior, para el caso en estudio tenemos ventanas por los cortes de facturación en las cuales el límite inferior es cero y el superior corresponde a las 5 horas ó 300 minutos que corresponden al periodo de la mañana y el mismo tiempo al periodo de la tarde. Anexo 3.

Las ventanas de tiempo se encuentran expresadas en minutos.

Distancias (i,j)

Se realiza una matriz de distancias considerando el tiempo que toma llegar a cada cliente y las posibles combinaciones de llegadas entre cada cliente dada la muestra en estudio.

Para poder obtener el tiempo que lleva llegar a cada uno de los nodos, se utilizó Google Earth que anteriormente era un programa de Keyhole y que en 2005 pasó a ser parte de Google.⁵

Mediante este programa se buscó las coordenadas de cada cliente y se obtuvo el tiempo en minutos que toma llegar a cada nodo.

Capacidad de vehículo:

Dato que corresponde a los diferentes tipos de vehículos que se probarán para el análisis del modelo.

La capacidad de estos vehículos serán de 3.5, 5, 10 toneladas.

⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Google_Maps

3.2.1.2 Definición de variables

$X(i,j,u)$: Variable binaria:

$$x_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{si el arco } i, j \text{ pertenece a la ruta} \\ 0 & \text{si no pertenece} \end{cases}$$

$L(i)$ Carga del vehículo después del cliente i

$T(i)$ tiempo de llegada.

3.2.1.3 Ecuaciones y restricciones

$$\text{F.O} \quad \sum_{i,j,u} \text{distancias}(i,j)x(i,j,u)$$

$$\text{Res1}(i) \quad \sum_{j,u} \text{distancias}(i,j)x(i,j,u) = 1$$

$$\text{Res2}(i,u) \quad \sum_j \text{distancias}(j,i)x(j,i,u) = \sum_j \text{distancias}(i,j)x(i,j,u)$$

$$\text{Res3}(i) \quad L(i) \leq \text{capacidad}$$

$$\text{Res4}(i,j,u) \quad L(i) + \text{demanda}(j) - L(j) \leq 50000000*(1-x(i,j,u))$$

$$\text{Res5}(i,u) \quad \text{demanda}(i) - L(i) \leq 500000*(1-x(u,i,u))$$

$$\text{Res6}(i) \quad t(i) \geq \text{ventanas}(i,in)$$

$$\text{Res7}(i) \quad t(i) \leq \text{ventanas}(i,sup)$$

F.O: Función Objetivo minimizar el tiempo que lleva transportar la mercadería

Res1(i): Corresponde a la condición que el nodo sea visitado una sola vez

Res2(i,u): Ecuación de flujo del modo

Res3(i): Capacidad del camión.

Res4(i,j,u): Carga repartida acumulada por el camión de visita.

Res5(i,u): Carga repartida del camión después de la primera visita.

Res6(i): Ventanas de tiempo límite superior.

Res7(i): Ventanas de tiempo límite inferior

3.2.1.4 Resultados

Después de ingresar el modelo planteado al modelador Gams, el programa resuelve el problema lineal dando como resultado el siguiente diseño de ruta:

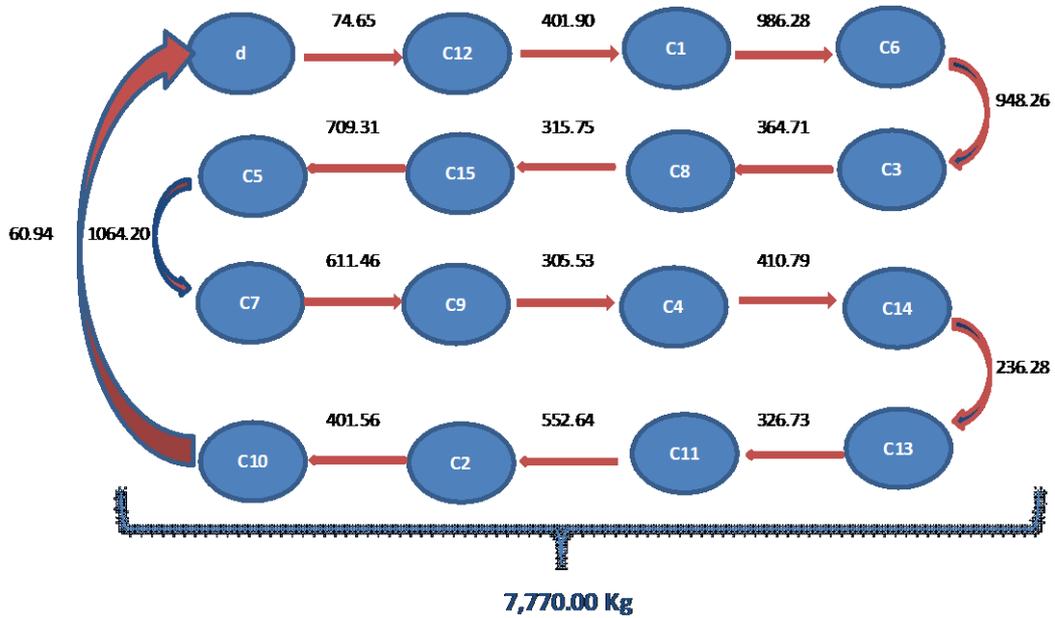


Figura 3.12. – Diseño de ruta zona del Guayas

Esta ruta nos indica que el vehículo que se tendrá que adquirir es uno de capacidad de 10 Toneladas, se concluye este resultado dado que para la demanda analizada la capacidad de 10 tn es adecuada para poder satisfacer la demanda y para cumplir con las ventanas de tiempo.

La ruta diseñada nos indica una sola corrida, ya que estamos analizando los cliente de una muestra escogida (15 clientes zona Guayaquil de un total de 60 cliente para esta zona).

3.2.2 Modelo VRP Capacitado para rutas Interprovinciales

Para desarrollar el modelo de transporte correspondiente a las rutas interprovinciales se escoge el modelo CVRP, ya que se tiene capacidad de vehículos y a diferencia del ruteo local en este caso no se consideran ventanas de tiempo, debido a que por la ubicación de los clientes las ventanas son bastante holgadas.

Este servicio de transporte interprovincial actualmente se encuentra tercerizado. Mediante el análisis de este modelo se podrá decidir contar con una flota propia para poder ofrecer directamente el transporte interprovincial.

3.2.2.1 Definición Datos de entrada

Clientes:

Se escoge la zona (provincia) más representativa mediante el análisis ABC de los clientes.

Para el análisis se escoge la provincia de Manabí, siendo esta la de mayor incidencia dentro de las ventas de la empresa y por ende la de mayor movimiento para el transporte de pedidos.

Demanda:

Se usa el mismo criterio definido para el modelo de ruteo local, usando como dato inicial el pronóstico de ventas para el próximo año anteriormente obtenido.

Las demandas están expresadas en pesos, considerando el conjunto de productos que más comercializan los clientes de Manabí, que corresponden a la muestra escogida. Mediante este proceso se obtiene los posibles pedidos, bajo los cuales se modelaran las mejores rutas.

Cliente	Demanda Kg	Provincia	Participación	Demanda Kg pronosticada
C1	79.89	Manabi	0.6%	57.05
C2	50.12	Manabi	0.6%	79.75
C3	75.37	Manabi	0.4%	80.97
C4	156.64	Manabi	1.5%	173.51
C5	300.09	Manabi	3.0%	260.97

Tabla 3.3. – Demanda de clientes semanal Manabí

Distancias:

Se realiza una matriz de distancia considerando el tiempo que llevar transportar estos pedidos desde Guayaquil a los diferentes puntos de Manabí donde se encuentren los clientes de la muestra.

Las distancias se encuentran expresadas en minutos.

Capacidad del vehículo:

Corresponde a los diferentes tipos de vehículos a analizar para realizar la ruta escogida.

3.2.2.2 Definición de variables

$X(i,j,u)$: Variable binaria:

$$x_{i,j} \begin{cases} 1 & \text{si el arco } i, j \text{ pertenece a la ruta} \\ 0 & \text{si no pertenece} \end{cases}$$

$L(i)$ Carga del vehículo después del cliente i

3.2.2.3 Ecuaciones y restricciones

$$\text{F.O} \quad \sum_{i,j,u} \text{distancias}(i,j)x(i,j,u)$$

$$\text{Res1}(i) \quad \sum_{j,u} \text{distancias}(i,j)x(i,j,u) = 1$$

$$\text{Res2}(i,u) \quad \sum_j \text{distancias}(j,i)x(j,i,u) = \sum_j \text{distancias}(i,j)x(i,j,u)$$

$$\text{Res3}(i) \quad L(i) \leq \text{capacidad}$$

$$\text{Res4}(i,j,u) \quad L(i) + \text{demanda}(j) - L(j) \leq 50000000*(1-x(i,j,u))$$

$$\text{Res5}(i,u) \quad \text{demanda}(i) - L(i) \leq 500000*(1-x(u,i,u))$$

F.O: Función Objetivo minimizar el tiempo que lleva transportar la mercadería

Res1(i): Corresponde a la condición que el nodo sea visitado una sola vez

Res2(i,u): Ecuación de flujo del modo

Res3(i): Capacidad del camión.

Res4(i,j,u) : Carga repartida acumulada por el camión de visita.

Res5(i,u): Carga repartida del camión después de la primera visita.

3.2.2.4 Resultados.

El modelo interprovincial CVRP se ingresa en Gams, y se obtiene la siguiente ruta:

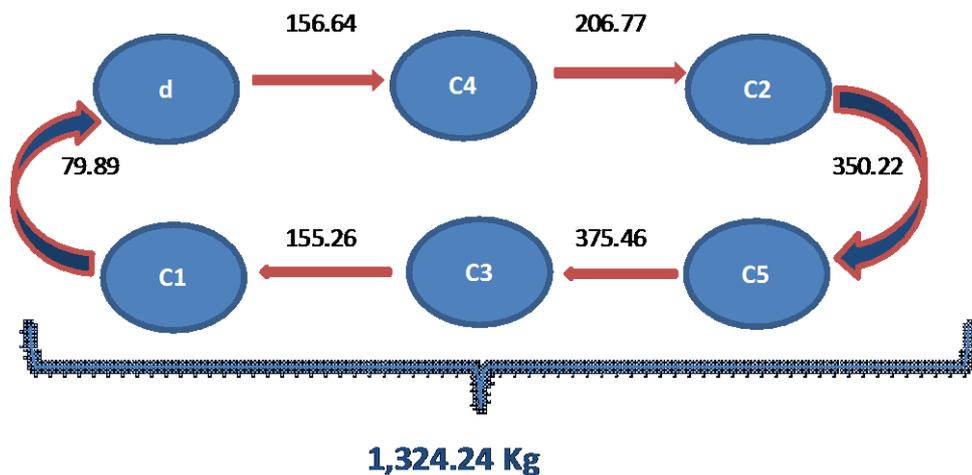


Figura 3.13. – Diseño de ruta zona de Manabí

La ruta obtenida nos da como resultado, la necesidad de un vehículo de 3.5 Toneladas para poder cubrir la demanda de la zona de Manabí.

Como no se considera ventanas de tiempo el vehículo parte del depósito cumple con todas las visitas y regresa al depósito.

3.3 Selección de flota

A pesar de que el giro del negocio de la empresa en estudio no es la transportación, esta es un eslabón importante dentro del proceso de distribución de los productos que comercializa. Esto va ligado al nivel de servicio que brinda a sus clientes, por lo cual se vuelve importante solucionar de manera eficiente las necesidades de traslado a los diferentes puntos del país.

Es por esto que la selección de la nueva flota que requiere para poder cubrir la demanda dentro y fuera de Guayaquil, se vuelve una toma de decisión importante.

Para la evaluación y selección de vehículos se procura buscar las opciones con el menor costo de operaciones posible, existiendo básicamente dos enfoques básicos de selección: el criterio de inversión y el criterio de selección de tecnologías, incluyendo en este último características de los flujos de carga, condiciones bajo las cuales trabajará el vehículo, y velocidad de entrega de la carga.

De acuerdo al análisis previo realizado, la necesidad se refleja en un camión de 3.5 TM para las entregas en provincia, y uno de 10 TM para cubrir Guayaquil y sus alrededores.

Para la selección de estos camiones se ha considerado la misma marca, ya que cuando existe flota muy heterogénea se puede incrementar los costos de mantenimiento, más piezas de repuestos y mayores costos en la formación del personal técnico.

Luego de seleccionar las diferentes ofertas según las necesidades del mercado y para lo que se desea cubrir en términos de servicio y traslado de mercadería, estas deben ser sometidas a criterios de decisión para poder seleccionar la mejor alternativa.

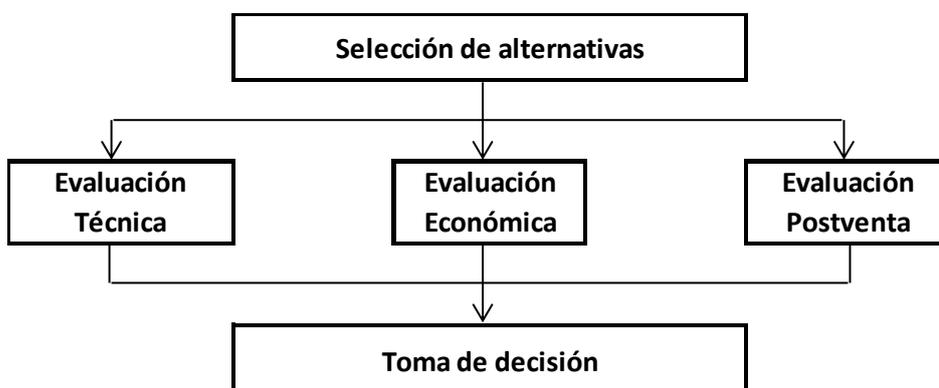


Figura 3.14 – Criterios para evaluar alternativas de ofertas de vehículos

Características y Precios

Marca	ISUZU	HINO
Modelo	ISUZU 4 JJ1 TC	SERIE 300 DUTRO 616
Precio	\$ 29,599.83	\$ 36,400.00
Tipo de motor	Tubo intercooler common riel	Tubo intercooler common riel
Potencia	130 HP	148 HP
Cilindraje	2999 cc	4009 cc
Peso bruto vehicular	5600 kg	5500 kg
Capacidad	3510 kg	4705 kg
USD / Kg	\$ 8.43	\$ 7.74

Marca	ISUZU	HINO
Modelo	GHK1-TCN	SERIE 500 1017 (FC9JISA)
Precio	\$ 67,618.16	\$ 50,064.00
Tipo de motor	Tubo intercooler common riel	Tubo intercooler common riel
Potencia	240 HP	170 HP
Cilindraje	7790 cc	5307 cc
Peso bruto vehicular	15500 kg	15500 kg
Capacidad	10485 kg	10400 kg
USD / Kg	\$ 6.45	\$ 4.81

Tabla 3.4 – Características y Precios de camiones a elegir

Las marcas Isuzu e Hino, según la información revisada en la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, son las marcas de mayor venta a nivel nacional. Este fue un factor relevante para la selección de las marcas a seleccionar.

Además, esto conlleva a que ambas marcas se esfuercen por buscar soluciones integrales a nivel nacional. Y efectivamente cuentan con talleres alrededor del Ecuador donde se ofrece el servicio preventivo y correctivo de mantenimientos vehiculares.

Otro factor preponderante es la cantidad y diversidad de repuestos disponibles en el mercado del AfterMarket, lo cual se torna sumamente importante al momento de la decisión de compra. Es de vital importancia que se cuente con las partes y piezas necesarias para cuando el vehículo lo requiera.

Así mismo, se debe considerar como criterio de decisión de compra la facilidad de reventa del vehículo cuando la compañía lo crea conveniente.

Luego de revisar lo necesario para la toma de decisión, y revisar la información de las marcas sugeridas, se puede apreciar fácilmente que la marca Hino reúne todos los requisitos para ser la marca más considerada al final del análisis.

3.4 Modelo Tarifario

Para lograr determinar si la adquisición del camión para cubrir los despachos de la ruta escogida a Manabí, es más rentable que el mecanismo utilizado actualmente de enviar los pedidos de los clientes de la zona vía transporte interprovincial, se ha desarrollado un modelo tarifario.

Con este modelo se espera analizar los costos en los que se incurrirá con el nuevo vehículo, tanto en lo que se refiere a costos fijos y costos variables, para luego hacer una comparación versus los costos que se incurren actualmente.

El modelo tarifario incluye varios rubros, y se ha realizado solo para el vehículo de 4.7 TM que es el que se adquirirá para la zona mencionada fuera del Guayas.

Rubro		
Camión		Hino 4.7 Ton
Fijo		
Chasis	compra	36,400
Furgon	compra	-10920
(a) Chasis + Furgon	al año [V.U. 5 años]	5,096
(b) Matrícula	al año	1,019
(c) Seguro	al año (4%)	1,456
Baterías	compra	120
(d) Batería	al año [V.U. 1 año]	360
Sueldo Chofer	mensual	450
(e) Sueldo Chofer	al año	5,400
(f) Lavado	12 lavados al año	360
(g) Mantenimiento anual	4% chasis + furgon	1,019
Costo anual (a+b+c+d+e+f+g)		14,710
Variable		
Diesel/Gasolina	U\$ /gln	1.04
Combustible	km/gln	20
(h) Costo combustible	por km	0.052
Llantas [6 llantas]	Compra	1,300
Rendimiento promedio llantas	km	80,000
(i) Costo llantas	por km	0.016
Aceite y Filtro	usd	34.08
Tiempo cambio	km	5,000
(j) Costo aceite y filtro	km	0.007
Costo por km (h+i+j+k+l+m)		0.07507

Modalidad Fijo + Variable	
Días x año	260
Camion x dia (fijo)	57
Por km (Variable)	0.0751
Costo transporte:	94.79

Tabla 3.5. – Modelo Tarifario

Haciendo la respectiva comparación con los gastos que se incurren actualmente, donde en promedio se despachan 140 cajas de productos de alrededor de 20 kilos cada una, y a un costo de USD 1.00 la caja, vemos que es una opción interesante la de adquirir un vehículo que cubra la zona de Manabí que hemos analizado en este estudio.

Cajas despachadas por día (actual)	Costo por caja despachada	Total diario	Total diario (con compra de camión)	Ahorro anual (con compra de camión)
140	\$ 1.00	\$ 140.00	\$ 94.79	\$ 11,754.60

Tabla 3.6. – Comparación situación actual vs compra de camión

El total del costo diario utilizando el transporte interprovincial para enviar los pedidos a los clientes, es de USD 140, cuando el costo del transporte diario con la adquisición del camión y considerando costos fijos y costos variables asciende solo a USD 94.79. Esto significa una diferencia importante de aproximadamente USD 12,000 al año.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

El modelo matemático aplicado ha brindado la oportunidad de gestionar mejor y de manera óptima el diseño de las rutas y planificación de despachos a clientes. Se concluye entonces, que se ha obtenido una ruta más efectiva para la ciudad de Guayaquil y sus alrededores, que la ruta que se aplica actualmente de manera empírica.

Otro punto importante es que se ha logrado minimizar los tiempos de recorrido según los resultados arrojados por el modelo aplicado.

Gracias al pronóstico de la demanda se pudo realizar la proyección de crecimiento de los próximos años de la empresa estudiada, logrando con esto definir y establecer mejor las necesidades de flota considerando el crecimiento sostenible que ha mantenido en el tiempo.

Luego del análisis realizado en este proyecto se puede concluir que a la empresa en estudio le convendría adquirir un camión para la ruta a la zona analizada de Manabí, ya que los costos que se incurrían en ellos son mucho menores que los que se incurren actualmente.

4.2. Recomendaciones

Una vez realizado el análisis de este proyecto, y sabiendo que se ha trabajado para efectos académicos con una muestra de clientes representativa de una empresa comercializadora de productos automotrices y herramientas eléctricas, se recomienda aplicar el modelo con una mayor cantidad de clientes para realizar un análisis más real de las necesidades de la empresa.

Así mismo, con el análisis que se realizará utilizando la base de clientes completa, se recomienda utilizar un software más robusto para la implementación del modelo matemático.

El estudio realizado para la zona de Manabí, la cual fue la más representativa de la muestra tomada, se recomienda elaborarlo para el resto de zonas aledañas al Guayas con el fin de identificar mayores necesidades y optimizaciones de recorridos, tiempos y flotas.

Por último se recomienda a la empresa, según los resultados de este análisis, la compra de un vehículo de 10 TM para los despachos en la zona del Guayas y de 4 TM para los despachos en la zona de Manabí.

ANEXO 1

Cientes Zona Guayaquil

<u>Cliente/Línea Producto</u>	<u>Cantidad por Año</u>	<u>Peso x Producto</u>	<u>Cantidad x Semana</u>	<u>Kilos x Semana</u>	<u>Totales</u>
C1					
AA Bujías	47,40	0,06	0,91	0,05	
AA Sistema de Frenos	21,34	1,35	0,41	0,56	
AA Vtas/varios Eq.Taller	1,50	0,31	0,03	0,01	
BA Baterías Bosch Nacionales	385,53	20,58	7,41	152,58	
OA Car Care Sonax-Alemania	99,33	1,69	1,91	3,23	156,42
C2					
AA Bujías	92,94	0,08	1,79	0,15	
AA Electric y Electrón confort	53,82	0,29	1,04	0,30	
AA Plumas	23,29	0,22	0,45	0,10	
AA Sist. Motor Gasolina	26,55	0,23	0,51	0,12	
AA Técnicas de Alumbrado	100,00	0,30	1,92	0,58	
AA Vtas/varios Eq.Taller	5,00	0,00	0,10	0,00	
BA Baterías Bosch Nacionales	556,30	20,58	10,70	220,17	
BA Baterías Bosch Importadas	46,02	13,80	0,89	12,22	
BA Baterías Bosch Motocicletas	20,38	56,23	0,39	22,04	255,67
C3 - C4					
AA Plumas	2389,90	0,25	45,96	11,66	
AA Sistema de Frenos	300,75	0,23	5,78	1,32	
BA Baterías Bosch Nacionales	1124,89	20,58	21,63	445,20	
OA Car Care Sonax-Alemania	1650,36	2,14	31,74	67,90	
PT Accesorios Bosch-Skil	763,82	0,15	14,69	2,23	
PT Dremel	112,51	0,10	2,16	0,21	
PT Herramientas Medición	39,75	0,18	0,76	0,14	
PT Máquinas Bosch	249,23	4,03	4,79	19,30	
PT Máquinas Skil	495,55	2,31	9,53	22,00	
TT SPS Calefones	520,22	0,82	10,00	8,22	
TT SPS Calentador.eléctricos	46,49	0,32	0,89	0,28	578,46
C5					
AA Sist. Motor Gasolina	1958,63	0,30	37,67	11,31	
AA Sistema de Frenos	18,33	1,18	0,35	0,41	
AA Vtas/varios Eq.Taller	2,07	0,03	0,04	0,00	
BA Baterías Bosch Nacionales	1147,77	20,58	22,07	454,25	
BA Baterías Bosch Importadas	11,55	13,80	0,22	3,07	469,04
C6					
AA Bujías	603,29	0,07	11,60	0,78	
AA Electric y Electrón confort	493,92	0,43	9,50	4,08	
AA Plumas	685,11	0,23	13,18	3,06	
AA Sist. Motor Gasolina	80,30	0,28	1,54	0,42	
AA Sistema de Frenos	15,21	0,99	0,29	0,29	

AA Suministro de Energía	20,59	0,64	0,40	0,25	
AA Técnicas de Alumbrado	272,96	0,25	5,25	1,33	
BA Baterías Bosch Nacionales	362,78	20,58	6,98	143,58	
BA Baterías Bosch Importadas	147,77	13,80	2,84	39,23	
BA Baterías Bosch Motocicletas	175,28	54,83	3,37	184,80	
OA Car Care Sonax-Alemania	71,07	1,19	1,37	1,63	379,44
C7					
AA Bujías	3543,55	0,06	68,15	4,34	
AA Diesel	75,86	0,05	1,46	0,08	
AA Electric y Electrón confort	1614,28	0,67	31,04	20,93	
AA Plumas	1906,51	0,22	36,66	8,11	
AA Sist. Motor Gasolina	281,17	0,31	5,41	1,69	
AA Sistema de Frenos	175,43	1,33	3,37	4,49	
AA Suministro de Energía	15,10	1,30	0,29	0,38	
AA Técnicas de Alumbrado	802,15	0,08	15,43	1,18	
AA Vtas/varios Eq.Taller	92,67	0,29	1,78	0,51	
BA Baterías Bosch Nacionales	453,14	20,58	8,71	179,34	
BA Baterías Bosch Importadas	11,68	13,80	0,22	3,10	
BA Baterías Bosch Motocicletas	154,38	39,87	2,97	118,38	
OA Car Care Sonax-Alemania	33,03	0,97	0,64	0,61	343,14
C8					
AA Diesel	19,58	0,09	0,38	0,03	
AA Diesel Nvas.Tecnologías	6,67	0,03	0,13	0,00	
AA Diesel Nvas.Tecnologías CRI	5,05	0,57	0,10	0,06	
AA Diesel Nvas.TecnologíasVP44	19,10	0,40	0,37	0,15	
AA Vtas/varios Eq.Taller	2,75	37,58	0,05	1,99	2,23
C9					
BA Baterías Bosch Nacionales	1,00	20,58	0,02	0,40	
IW Máquinas Neumáticas	5,00	3,80	0,10	0,37	
PT Accesorios Bosch-Skil	130,79	0,29	2,52	0,72	
PT Dremel	25,02	0,02	0,48	0,01	
PT Herramientas Medición	4,80	0,13	0,09	0,01	
PT Máquinas Bosch	33,25	4,18	0,64	2,67	
PT Máquinas Skil	48,55	2,63	0,93	2,46	
TT SPS Calefones	15,25	13,33	0,29	3,91	
TT SPS Calentador.eléctricos	3,67	0,33	0,07	0,02	10,56
C10					
AA Bujías	248,44	0,08	4,78	0,39	
AA Diesel	6,93	0,05	0,13	0,01	
AA Diesel Nvas.Tecnologías	31,13	0,30	0,60	0,18	
AA Diesel Nvas.Tecnologías CRI	4,00	0,09	0,08	0,01	
AA Electric y Electrón confort	1129,52	0,53	21,72	11,55	
AA Plumas	40,68	0,21	0,78	0,16	
AA Sist. Motor Gasolina	17,25	0,27	0,33	0,09	
AA Suministro de Energía	115,70	1,66	2,23	3,69	
AA Técnicas de Alumbrado	706,70	0,01	13,59	0,14	

AA Vtas/varios Eq.Taller	3,00	0,00	0,06	0,00	
BA Baterías Bosch Nacionales	99,91	20,58	1,92	39,54	
BA Baterías Bosch Importadas	2,00	13,80	0,04	0,53	
OA Car Care Sonax-Alemania	202,50	0,71	3,89	2,76	
PT Máquinas Bosch	2,00	2,00	0,04	0,08	59,12
C11					
AA Bujías	96,25	0,06	1,85	0,10	
AA Electric y Electrón confort	27,00	1,11	0,52	0,58	
AA Equipos Schumacher	11,00	17,69	0,21	3,74	
AA Plumas	45,00	0,22	0,87	0,19	
AA Sist. Motor Gasolina	26,25	0,25	0,50	0,13	
AA Técnicas de Alumbrado	81,00	0,01	1,56	0,01	
BA Baterías Bosch Nacionales	390,05	20,58	7,50	154,37	
BA Baterías Bosch Importadas	39,38	13,80	0,76	10,46	
BA Baterías Bosch Motocicletas	52,04	84,35	1,00	84,41	253,99
C12					
BA Baterías Bosch Nacionales	126,58	20,58	2,43	50,10	
BA Baterías Bosch Importadas	13,40	13,80	0,26	3,56	53,65
C13					
AA Plumas	29,58	0,22	0,57	0,12	
BA Baterías Bosch Nacionales	286,95	20,58	5,52	113,57	
BA Baterías Bosch Importadas	3,87	13,80	0,07	1,03	
BA Baterías Bosch Motocicletas	2,13	0,00	0,04	0,00	114,72
C14					
AA Electric y Electrón confort	8,50	0,79	0,16	0,13	
AA Plumas	196,07	0,22	3,77	0,83	
AA Sist. Motor Gasolina	6,44	0,27	0,12	0,03	
AA Sistema de Frenos	18,69	1,31	0,36	0,47	
AA Vtas/varios Eq.Taller	2,20	0,51	0,04	0,02	
BA Baterías Bosch Nacionales	291,59	20,58	5,61	115,40	
BA Baterías Bosch Importadas	10,79	13,80	0,21	2,86	
OA Car Care Sonax-Alemania	77,74	1,21	1,49	1,81	121,56
C15					
AA Vtas/varios Eq.Taller	90,80	0,10	1,75	0,17	
BA Baterías Bosch Nacionales	571,02	20,58	10,98	225,99	
BA Baterías Bosch Importadas	9,55	13,80	0,18	2,53	
BA Baterías Bosch Motocicletas	6,50	91,38	0,13	11,42	
OA Car Care Sonax-Alemania	10,12	0,78	0,19	0,15	240,27

ANEXO 2

Cientes Zona Manabí

<u>Ciente/Línea Producto</u>	<u>Cantidad por Año</u>	<u>Peso por Producto</u>	<u>Cantidad por Semana</u>	<u>Kilos por Semana</u>	<u>Totales</u>
C1					
AA Electric y Electrón confort	8,33	0,11	0,16	0,02	
AA Vtas/varios Eq.Taller	28,25	0,31	0,54	0,17	
BA Baterías Bosch Nacionales	191,27	20,58	3,68	75,70	
BA Baterías Bosch Importadas	10,14	13,80	0,19	2,69	
BA Baterías Bosch	2,38	28,12	0,05	1,29	
Motocicletas					
OA Car Care Sonax-Alemania	6,00	0,23	0,12	0,03	79,89
C2					
AA Bujías	593,24	0,06	11,41	0,72	
AA Electric y Electrón confort	87,08	0,40	1,67	0,67	
AA Equipos Schumacher	1,67	7,81	0,03	0,25	
AA Plumas	46,31	0,22	0,89	0,20	
AA Sist. Motor Gasolina	42,37	0,29	0,81	0,24	
AA Sistema de Frenos	67,51	1,47	1,30	1,90	
AA Técnicas de Alumbrado	72,58	0,01	1,40	0,02	
AA Vtas/varios Eq.Taller	1,53	17,44	0,03	0,51	
BA Baterías Bosch Nacionales	90,12	20,58	1,73	35,67	
BA Baterías Bosch Importadas	9,00	13,80	0,17	2,39	
BA Baterías Bosch	5,58	60,92	0,11	6,54	
Motocicletas					
OA Car Care Sonax-Alemania	37,92	1,40	0,73	1,02	50,12
C3					
AA Bujías	230,57	0,09	4,43	0,41	
AA Diesel Nvas.Tecnologías	7,00	0,30	0,13	0,04	
AA Electric y Electrón confort	1221,56	0,08	23,49	1,87	
AA Plumas	192,06	0,20	3,69	0,75	
AA Sist. Motor Gasolina	119,21	0,24	2,29	0,54	
AA Sistema de Frenos	17,21	1,15	0,33	0,38	
AA Suministro de Energía	6,60	1,54	0,13	0,20	
AA Técnicas de Alumbrado	56,50	0,01	1,09	0,02	
AA Vtas/varios Eq.Taller	1,00	0,49	0,02	0,01	
BA Baterías Bosch Nacionales	178,68	20,58	3,44	70,72	
BA Baterías Bosch Importadas	1,67	13,80	0,03	0,44	75,37
C4					
AA Bujías	186,82	0,11	3,59	0,39	
AA Electric y Electrón confort	20,00	0,60	0,38	0,23	
AA Equipos Schumacher	1,00	29,94	0,02	0,58	
AA Plumas	58,32	0,22	1,12	0,25	
AA Sistema de Frenos	18,55	1,20	0,36	0,43	

AA Técnicas de Alumbrado	4,00	0,49	0,08	0,04	
AA Vtas/varios Eq.Taller	1,50	0,24	0,03	0,01	
BA Baterías Bosch Nacionales	365,84	20,58	7,04	144,79	
BA Baterías Bosch Importadas	30,83	13,80	0,59	8,19	
OA Car Care Sonax-Alemania	71,24	1,08	1,37	1,48	
PT Accesorios Bosch-Skil	1,00	8,82	0,02	0,17	
PT Máquinas Bosch	1,00	5,55	0,02	0,11	156,64
C5					
AA Bujías	192,05	0,08	3,69	0,29	
AA Electric y Electrón confort	9,29	0,66	0,18	0,12	
AA Equipos Schumacher	2,00	10,97	0,04	0,42	
AA Plumas	69,54	0,23	1,34	0,31	
AA Sistema de Frenos	12,79	1,31	0,25	0,32	
AA Vtas/varios Eq.Taller	1,44	26,42	0,03	0,73	
BA Baterías Bosch Nacionales	719,59	20,58	13,84	284,79	
BA Baterías Bosch Importadas	27,23	13,80	0,52	7,23	
BA Baterías Bosch	5,44	56,23	0,10	5,88	300,09
Motocicletas					

ANEXO 3

Ventanas de tiempo para modelo de Transporte Local

table ventanas(i,limites)

d	in	sup
	0	300
C1	0	300
C2	0	300
C3	0	210
C4	0	210
C5	0	300
C6	0	300
C7	0	300
C8	0	300
C9	0	300
C10	0	300
C11	0	300
C12	0	300
C13	0	300
C14	0	300
C15	0	300

BIBLIOGRAFIA

[1] Sandoya, Fernando (2007). Métodos Exactos y Heurísticos para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP). Espol, Guayaquil.

[2] Ríos, Carlos y colaboradores (2004). Técnicas Heurísticas aplicadas al problema del cartero viajante TSP. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

[3] Herrera, Francisco (2006). Introducción a los algoritmos Metaheurísticos. Universidad de Granada, España.

[4] Díaz, Ocotlán (2010). El Problema del Transporte. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Cuernavaca, México.

[5] Delgado, Erwin (2011). Problema de Ruteo Vehicular. Espol, Guayaquil.

[6] Rodríguez, Alejandro (2012) Grafos – Software para la construcción, edición y análisis de grafos.

[7] Torres Pérez, C.E. Desarrollo de modelos de optimización para el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo y flota heterogénea.

***http://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth