



Escuela Superior Politécnica Del Litoral

Instituto de Ciencias Matemáticas

“Selección de flota para creación de un operador logístico de transporte de personal y diseño de ruta usando el modelo MDCVRP (Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem)”

TESIS DE GRADO

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

Presentado por:

Allan Wladimir Peñafiel Mera
Cristóbal Antonio Villao Mendoza

Guayaquil – Ecuador

2012

DEDICATORIAS

A Dios por darme sabiduría y entendimiento durante todo el tiempo de mi carrera, a mi madre por su paciencia y apoyo incondicional en los momentos buenos y malos, a mami Tere porque sin su ayuda no hubiera podido estudiar esta carrera, a Nadia por el cariño y la motivación que me ha dado para superarme.

Cristóbal Antonio Villao Mendoza

Dedico este trabajo a mi mamá, porque es ella quien supo educarme desde muy joven y transmitirme sus conocimientos. Creo que sin los conceptos básicos que ella me enseñó no hubiese podido alcanzar mis metas.

Allan Wladimir Peñafiel Mera

AGRADECIMIENTOS

A Allan por su paciencia, y presión constante durante el desarrollo de este tema. Al Ing. Víctor Vega Chica por darnos la oportunidad de realizar nuestra tesis en la importante empresa a la que pertenece. A mi padre por su ayuda y apoyo desde el exterior. A mi tía Mónica por la motivación que siempre me da, en momentos buenos y malos.

Cristóbal Antonio Villao Mendoza

Quiero agradecer a mi compañero de tesis por haber sido un colaborador de excelencia en el desarrollo de este proyecto, al Ing. Víctor Vega Chica por habernos guiado hasta lograr la culminación de nuestra tesis, a Karen por haberse convertido en mi principal motivación, a mi papá y a mi hermano por haber contribuido desinteresadamente en mi desarrollo profesional, a las familias: Paladines Rodríguez, Coloma Carrasco y Cercado Mera por haber confiado en mí.

Allan Wladimir Peñafiel Mera

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en esta tesis de grado nos corresponden exclusivamente, así como el patrimonio intelectual del mismo corresponde a la Escuela Superior Politécnica Del Litoral.

Allan Peñafiel Mera

Cristóbal Villao Mendoza

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M. Sc. Guillermo Baquerizo Palma

Presidente

M. Sc. Víctor Vega Chica

Director de tesis

M. Sc. Daniel Agreda De La Paz

Vocal

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DECLARACION EXPRESA.....	IV
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ABREVIATURAS	XII
RESUMEN.....	XIV
CAPÍTULO 1	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Situación actual del negocio	1
1.2 Problemática.....	3
1.3 Objetivo General.....	5
1.4 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2 MARCO TEÓRICO	7

2.1	Introducción	7
2.2	Selección de flota	7
2.2.1	Aspecto económico	8
2.2.2	Aspecto técnico	9
2.2.3	Servicio Post-venta	10
2.2.4	Investigación de mercado	11
2.3	Modelo Tarifario	12
2.3.1	Conocimiento del entorno	13
2.3.2	Identificación de variables	14
2.3.3	Tipos de modelos tarifarios	15
2.3.4	Costos fijos.....	18
2.3.5	Costos variables.....	18
2.3.6	Valor del dinero en el tiempo.....	19
2.4	Ruteo vehicular.....	21
2.4.1	El Problema del Agente Viajero (TSP)	21
2.4.2	El Problema Multi-agente Viajero (m-TSP)	21
2.4.3	Introducción al VRP.....	22
2.4.4	Definición del VRP	23
2.4.5	Formulación matemática del VRP	23

2.4.6	Variantes del VRP	25
2.4.7	Métodos de resolución	26
CAPÍTULO 3.....		32
3	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	32
3.1	Selección de vehículo	32
3.1.1	Aspectos económicos para la selección de flota	33
3.1.2	Aspectos técnicos del vehículo	33
3.1.3	Análisis de servicio post-venta	35
3.1.4	Forma de evaluación.....	36
3.1.5	Matriz de ponderación.....	37
3.2	Modelo tarifario para determinar costos.....	39
3.2.1	Modelo de función lineal adaptado al proyecto	40
3.2.2	Valor del servicio de transporte.....	46
3.3	Metaheurística para realizar el ruteo vehicular	46
3.3.1	Datos del modelo	48
3.3.2	Estructura de la solución	49
3.3.3	Heurística para solución inicial.....	49
3.3.4	Funciones que permiten modificar la estructura de la solución .	50
3.3.5	Funciones del RS adaptadas al MDCVRP	52

3.3.6	Proceso de enfriamiento	52
3.3.7	Algoritmo general del RS aplicado al MDCVRP	53
3.4	Herramientas informáticas	54
3.4.1	Microsoft Excel	55
3.4.2	Google Earth	55
3.4.3	Wolfram Mathematica 7.0	56
CAPÍTULO 4		57
4	APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
4.1	Vehículo seleccionado	57
4.2	Resultados del modelo tarifario	58
4.3	Análisis de resultados del ruteo	59
CAPÍTULO 5		62
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1	Conclusiones	62
5.2	Recomendaciones	64
BIBLIOGRAFÍA		68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Selección de alternativas de equipos de transporte [2].	8
Figura 2-2. Matriz de ponderación para la determinación del Indicador de Toma de Decisión (ITD) [2].	10
Figura 3-1. Ejemplo MDCVRP resuelto con VMC.....	50
Figura 3-2. Ejemplo MDCVRP resuelto usando RS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Factor de decisión para realizar Outsourcing.	2
Tabla 1-2. Resumen costos actuales.....	4
Tabla 2-1. Diferencias entre diseño exploratorio y conclusivo [3]	12
Tabla 3-1. Precios de vehículos a septiembre del 2011.	33
Tabla 3-2. Relación precios capacidad.....	33
Tabla 3-3. Escala de evaluación.....	37
Tabla 3-4. Ejemplo de tabla de evolución de característica.....	37
Tabla 3-5. Esquema de la matriz ponderación.....	38
Tabla 3-6. Estructura de rol de pago.....	43
Tabla 3-7. Ejemplo de detalle de costos fijos.....	43
Tabla 4-1. Matriz de ponderación resultante.....	58
Tabla 4-2. Resumen de la matriz de ponderación.	58
Tabla 4-3. Costos variables.	59
Tabla 4-4. Costos fijos.	59
Tabla 4-5. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=6000$, $\alpha=0.8$	60
Tabla 4-6. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=4500$, $\alpha=0.85$	60
Tabla 4-7. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=3000$, $\alpha=0.9$	61
Tabla 5-1. Resumen de mejora del costo mensual por persona considerando 40 horas de trabajo semanales por furgoneta.	63
Tabla 5-2. Resumen de mejora del costo mensual por persona considerando 14 horas de trabajo semanales por furgoneta.	64
Tabla 5-3. Resultado de análisis de selección de flota.	65
Tabla 5-4. Función del modelo tarifario para definir el valor del servicio.	65

ABREVIATURAS

OPL	Operador Logístico
3PL	Third-party logistics
1PL	First-party logistics: sub-contratado del transporte
VP	Valor presente
VF	Valor futuro
A	Anualidad
VRP	Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo vehicular)
TSP	Travelling Salesman Problem (Problema del agente viajero)
m-TSP	Multiple Travelling Salesman Problem (Problema con múltiples agentes viajeros)
CVRP	Capacited Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo vehicular con capacidades)

MDVRP	Multiple Depot Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo vehicular con múltiples depósitos)
MDCVRP	Multiple Depot Capacited Vehicle Routing Problem (Problema de ruteo vehicular capacitado con múltiples depósitos)
RS	Recocido simulado
SRI	Servicio de rentas internas
VMC	Heurística del vecino más cercano
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)

RESUMEN

La empresa en estudio es un operador logístico que administra el almacenamiento y distribución para franquicias de comida rápida en el Ecuador. Esta empresa ha determinado que la recolección de personal en el horario de la madrugada es una actividad que no genera valor a sus operaciones, sin embargo representa un elevado costo. En este proyecto se busca una solución que ayude a reducir estos costos.

La solución consta de tres fases: seleccionar el vehículo, elaborar el modelo tarifario y diseñar rutas optimizadas.

En la primera fase se evalúan distintas marcas de furgonetas disponibles en el mercado. Esta evaluación se la realiza por medio de un estudio de mercado exploratorio aplicado a profesionales del sector automotriz, en el cual se considera aspectos técnicos, servicio post-venta y precio.

La siguiente fase consiste en la elaboración del modelo tarifario lineal en base a costos fijos y variables. Los costos fijos consisten en sueldos, amortización del vehículo, seguro, matrícula, depreciación del vehículo y batería. Y los costos variables dependen de los kilómetros recorridos y están compuestos por: mantenimiento, combustible y llantas.

La última fase consiste en el diseño de las rutas de tal forma que se minimicen los kilómetros recorridos, para lo cual se modela el problema como un MDCVRP (Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem). Y se lo resuelve utilizando la metaheurística *Recocido Simulado*, tomando como solución inicial la heurística del vecino más cercano.

CAPÍTULO 1

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación actual del negocio

La empresa objetivo, a la cual denominaremos “OPL CLIENTE”, es un operador logístico que administra los temas relacionados al almacenamiento y distribución de franquicias de comida rápida en Ecuador y pertenece al nivel 3PL. En la ciudad de Guayaquil cuenta con un centro de distribución, donde provee de productos y suministros a las franquicias que la conforman.

Para mantener abastecidos todos sus puntos de venta a la hora de apertura, el “OPL CLIENTE” se ha visto en la necesidad de comenzar sus actividades en el centro de distribución desde las 05H00. Por la falta de transporte público y conforme a las disposiciones de la ley establecidas en el Código de Trabajo [1], se debe brindar el servicio de expreso al personal que trabaja desde la madrugada. Durante la temporada regular el grupo de trabajadores en este horario oscila entre 20 y 22. Y durante temporada alta entre 30 y 32 empleados.

El “OPL CLIENTE” recurrió a la contratación de taxis particulares para transportar a este personal y realizar movilizaciones particulares durante el

día, esta decisión se sustenta en el bajo nivel de competencia y bajo nivel de contribución que tiene este servicio respecto al núcleo del negocio, como se muestra en la Tabla 1-1. Los contratos con los taxistas consisten en el pago de un valor fijo por cada recorrido en la madrugada más un valor variable que depende de la distancia recorrida y del número de viajes realizado durante el día.

Factor de decisión para subcontratar el servicio de transportación de personal		Nivel de contribución	
		Alto	Bajo
Nivel de competencia	Alto	No realizar subcontratación	Subcontratar el servicio (Si el operador subcontratado da mayor valor añadido)
	Bajo	Subcontratar el servicio (Si el operador subcontratado da mayor valor añadido)	Realizar subcontratación

Tabla 1-1. Factor de decisión para realizar Outsourcing.

Actualmente, el “OPL CLIENTE” considera que el costo del transporte de personal es muy elevado comparado con la cantidad de personas que lo utilizan, por lo que ha visto la necesidad de realizar cambios en los contratos con los taxistas que le brindan dicho servicio. La solución que plantea la compañía es incentivar a los dueños de los taxis, para crear un operador logístico especializado en transporte de personal, del nivel 1PL. En este

proyecto al nuevo operador se lo llamará "OPL EXPRESO". Como incentivo prevé dar una garantía económica ante un banco de la ciudad para la compra de furgonetas y el presente análisis sobre selección de flota, costo del servicio y diseño de rutas optimizadas. Este análisis, a nivel de asesoría, apuntalará la creación del nuevo operador.

De acuerdo a las políticas de la empresa la planificación de los horarios se realizan semanalmente. Esto implica, que el personal que trabaja en la madrugada puede ser variable de una semana a otra, dependiendo del comportamiento de la demanda.

1.2 Problemática

En la actualidad existen contratos con dos transportistas, correspondientes a un Outsourcing de tipo estratégico y consisten en el pago de \$ 15.50 por cada viaje realizado en la madrugada. Además, estos taxistas subcontratan otros vehículos en caso de que la empresa requiera movilizar más personal, esto corresponde a un Outsourcing de tipo táctico. Cada carro tiene una capacidad de cuatro pasajeros.

En temporada alta, cuando necesitan movilizar aproximadamente 32 empleados y toman la decisión de contratar ocho vehículos, el costo de

transporte asciende a \$ 3,720.00 por mes, como se muestra en la Tabla 1-2. Se debe mencionar que los taxis trabajan los siete días de la semana; además, estos costos no incluyen las carreras realizadas durante el día, pues dependen de los requerimientos de la empresa y no son objeto de este estudio. Si se consideran estas carreras el costo puede llegar a superar los \$5,000.00 por mes.

Costo Por Ruta En La Madrugada	Número De Rutas Diarias	Costo Total Diario	Costo Total Mensual	Personal Transportado Diariamente	Costo Total Mensual Por Persona
\$ 15.50	8	\$ 124.00	\$ 3,720.00	32	\$ 116.25

Tabla 1-2. Resumen costos actuales

El "OPL CLIENTE" se encuentra en proceso de ampliar su bodega, por lo cual planea contratar 10 empleados más. Esto implica, que en temporada regular el número de trabajadores en la madrugada oscilará entre 30 y 32, tal como ocurre en temporada alta. Como resultado el costo mensual de transportación será similar al costo actual de temporada alta, pero sostenido durante todo el año.

Dada la estructura del contrato, el "OPL CLIENTE" pierde el control sobre el personal que realiza el servicio de transporte, porque se conoce únicamente a los dos taxistas con los que realizó el convenio, pero no a los taxistas subcontratados. Esto se convierte en una situación de riesgo para la empresa, debido a que las leyes laborales la responsabilizan por cualquier

accidente que sufra el empleado en el trayecto desde la puerta de su casa hasta las puertas del centro de distribución y viceversa. Esta falta de control es un problema en temporadas regulares, mientras que en las altas se vuelve inmanejable.

Los directivos del “OPL CLIENTE” han decidido establecer las siguientes restricciones:

- Adquirir el menor número de vehículos necesarios para la transportación de personal como una estrategia interna para mantener el control de la operación.
- Contratar un OPL de transporte de personal que brinde servicio exclusivo a la empresa en los horarios requeridos, por medio de un contrato a Libro Abierto.

Al tener un servicio de transporte ejecutado de forma empírica, no se puede determinar si las rutas están enfocadas a la optimización de las distancias y costos o simplemente se enfocan a la movilización del personal.

1.3 Objetivo General

Proveer lineamientos técnicos para la creación de un operador logístico de transporte de personal, que reduzca los costos operativos relacionados a dicha actividad.

1.4 Objetivos Específicos

- Seleccionar la marca y modelo del vehículo, analizando: datos técnicos, precios, posicionamiento de marca, preferencias de la empresa y servicio post-venta.
- Elaborar un modelo tarifario considerando: costos de mantenimiento, combustible, personal, entre otros.
- Diseñar un esquema de rutas optimizadas para el recorrido de recolección del personal.

1.5 Hipótesis

El incentivo a la creación de un operador especializado en transporte de personal, para su posterior contratación, reducirá el costo de transporte por persona para el "OPL CLIENTE".

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

Para el desarrollo de este proyecto se seguirá esta estructura: selección de flota, modelo tarifario y ruteo vehicular.

Este capítulo analiza distintas teorías y técnicas existentes para desarrollar los tres objetivos específicos planteados en este proyecto.

2.2 Selección de flota

El objetivo particular de esta sección es obtener el suficiente fundamento teórico para realizar la correcta selección de la flota, que en este caso son furgonetas.

“La política inversionista es un aspecto de vital importancia dentro de la gestión empresarial. Para la empresa transportista toma mayor relevancia al ser los vehículos los activos fundamentales en el desarrollo del proceso de producción de estas empresas. Escoger el vehículo que reúna los requisitos que garanticen las exigencias de la transportación de manera que tribute sobre la eficiencia del proceso productivo debe ser el objetivo principal para cualquier empresa de transporte” [2]. La afirmación previa es relevante para

los OPL que pertenecen a la categoría 1PL, como el “OPL EXPRESO” que únicamente se encargará del servicio de transporte.

Realizar un debido proceso de selección de flota permite al inversionista adquirir un producto que realmente se ajusta a sus necesidades. Cuando se menciona esta afirmación no sólo se habla del cumplimiento de la función que motiva la adquisición, sino también de otros aspectos importantes como son: aspecto económico, aspecto técnico y post venta como se muestra en la Figura 2-1.

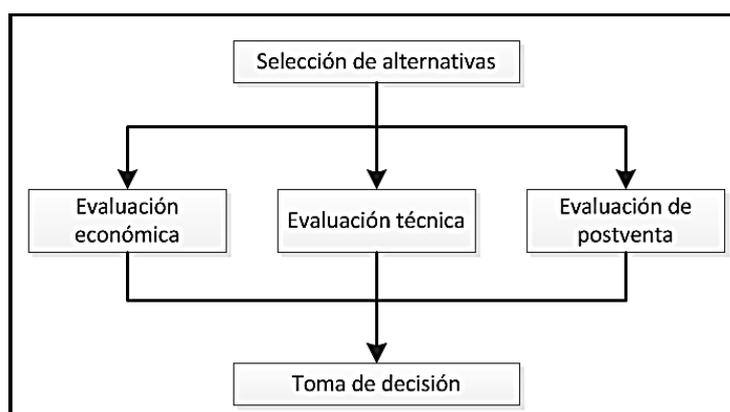


Figura 2-1. Selección de alternativas de equipos de transporte [2].

2.2.1 Aspecto económico

Se considera aspecto económico al valor del vehículo. No se incluyen los costos de los repuestos o mantenimientos porque esos valores son considerados dentro del aspecto de post-venta. Se puede utilizar el valor del vehículo pagado al contado o hallando el valor futuro del vehículo pagado a crédito.

2.2.2 Aspecto técnico

Cuando se habla del aspecto técnico se refiere a todas las características mecánicas, ergonómicas y tecnológicas con las que cuenta el vehículo, entre las principales tenemos:

- Dimensiones (Medidas y capacidades).
- Motor.
- Sistema de combustible (Consumo y/o rendimiento).
- Sistema de lubricación.
- Eje propulsor.
- Transmisión y chasis.
- Embrague.
- Suspensión.
- Sistema de frenos.
- Llantas y rines.
- Sistema eléctrico.
- Pesos.
- Confort (Comunicación y entretenimiento).
- Seguridad.

Estas características pueden variar dependiendo del tipo de vehículo que se pretende seleccionar y la necesidad que buscan satisfacer.

2.2.3 Servicio Post-venta

Para evaluar la postventa como criterio de selección, en las ofertas de vehículos se deben considerar 5 variables [2]:

- Posición competitiva.
- Atractivo del mercado.
- Poder negociador de los proveedores.
- Rivalidad en el mercado.
- Repuestos y mantenimientos.

El indicador de toma de decisión (ITD) se determina con ayuda de una matriz de ponderación como la que se muestra en la Figura 2-2.

Conceptos	Peso %	Evaluación	Valor Ponderado
Forma de pago	0.15		
Indicador técnico integral ponderado	0.25		
Resultado económico	0.35		
Índice evaluador de postventa	0.25		
		ITD=	$\sum VP$

Figura 2-2. Matriz de ponderación para la determinación del Indicador de Toma de Decisión (ITD) [2].

Pero, ¿cómo cuantificar este indicador? En la Figura 2-2, en la columna “Conceptos” se relacionan todas las variables a tomar en consideración para la decisión final.

En la columna “Peso” se pondrá el peso relativo que se le otorgará a cada variable en la decisión, el cual se determinó con la ayuda de la técnica Delphi. En la columna “Evaluación”, es la evaluación que se le otorga a las

alternativas de una misma categoría; teniendo en cuenta el rango del valor de cada indicador para cada uno de los modelos de vehículos que están siendo objeto de análisis.

En la columna “Valor ponderado”, se determinará el producto del peso relativo por la evaluación de cada variable. La suma de todos los valores ponderados permitirá determinar el Indicador de Toma de Decisión (ITD) [2].

2.2.4 Investigación de mercado

Es un proceso de identificación, acopio, análisis, difusión y aprovechamiento sistemático y objetivo de la información. Con el fin de mejorar la toma de decisiones relacionada a la identificación y solución de los problemas y las oportunidades del marketing [3].

2.2.4.1 Diseño de la investigación de mercado: Clasificación

Los diseños de la investigación de mercado pueden clasificarse ampliamente en exploratorios o conclusivos [3].

Exploratorio

Tipo de diseño de investigación que tiene como objetivo primordial proporcionar conocimientos y comprensión del problema que enfrenta el investigador [3].

Conclusivo

Investigación diseñada para ayudar a quien toma las decisiones a determinar, evaluar y seleccionar el mejor camino a seguir en una investigación dada [3].

Exploratorio vs Conclusivo

	Investigación Exploratoria	Investigación Concluyente
Objetivo	Conocer, comprender	Comprobar hipótesis
Información requerida	Superficial, ambigua	Clara
Muestra	Pequeña, no representativa	Grande, representativa
Análisis de datos	Cualitativo	Cuantitativo
Resultados	Tentativos, útiles para un siguiente estudio	Concluyentes, útiles para tomar decisiones

Tabla 2-1. Diferencias entre diseño exploratorio y conclusivo [3]

2.3 Modelo Tarifario

Un modelo tarifario es una herramienta de análisis matemático que permite, por medio de cálculos elementales o avanzados y utilizando la información adecuada, establecer el costo de un determinado servicio.

Para la mayoría de las empresas la transportación generalmente representa el elemento individual más importante en los costos de logística [4]. Por lo

cual en esta sección se analizarán distintos conceptos relacionados a la tarificación del transporte. El objetivo es encontrar un modelo tarifario que se adecúe a las necesidades de la empresa y su entorno. Además, de que permita tener una idea del valor que se debe cancelar por el servicio para no incurrir en gastos excesivos.

Como indica Moscoso [5], independientemente de la actividad que se vaya a estudiar, para la creación de un modelo tarifario se deben seguir estos pasos:

1. Conocer y entender la actividad de la compañía y su entorno.
2. Identificar y determinar las variables.
3. Construir modelos específicos para cada producto, servicio o tipo de cliente.
4. Recopilar la información necesaria para mejorar la precisión del modelo.

2.3.1 Conocimiento del entorno

En el caso del transporte, lo más importante es conocer el entorno donde se desarrollará la actividad [5], como:

- La peligrosidad de la carga.
- El peso de la carga.
- Los tiempos de carga y descarga.
- La frecuencia de viajes o número de viajes en un período de tiempo.
- Los tiempos permisibles de viaje.

- Tipo de vehículos utilizados.
- Las ventanas horarias de los puntos de destino.
- Restricciones de acceso.
- Cantidad de personas en el vehículo.

Esto no sólo permitirá definir correctamente las variables que intervendrán en el modelo tarifario, sino que también ayudarán creando parámetros o restricciones al momento de recopilar e introducir datos en el modelo [5].

2.3.1.1 Establecer el objetivo perseguido

Antes de aplicar un modelo tarifario de transporte se debe tener claro cuál es el objetivo que se persigue: definir la tarifa del servicio (cuando los activos pertenecen a un tercero), hallar el costo de la operación de transporte (cuando los activos pertenecen a la empresa) o establecer la rentabilidad del propietario de los activos [5].

2.3.2 Identificación de variables

Las variables más comunes son [5]:

- La distancia entre el origen y el destino.
- El consumo de combustible o rendimiento del combustible por kilómetro.
- El mantenimiento preventivo y correctivo de la unidad.
- La depreciación del activo.
- El personal.

- Seguro del vehículo.
- Peajes.
- Rendimiento de los neumáticos.
- Número de viajes posibles en un período de tiempo.
- Capacidad del vehículo.

Lo anteriormente descrito se lo debe realizar para los diferentes clientes y/o productos a menos que entre ellos exista una gran similitud y no sea necesario una diferenciación entre los modelos tarifarios [5].

Se debe recopilar información estadística de los costos que generan las variables definidas e ingresarlas al modelo. Esta información debe ser periódicamente revisada y actualizada. Es recomendable revisar la información cada 6 meses o cada vez que exista un incremento en los costos que influyen en el modelo, anunciado por el gobierno central o seccional [5].

2.3.3 Tipos de modelos tarifarios

Los modelos tarifarios se diferencian por su complejidad, la cual está dada por el número de variables y la precisión de los resultados. La aplicación de los diferentes modelos de transporte dependerá de la información disponible, el entorno de la actividad y la precisión deseada en los resultados [5]. Existe

un gran número de modelos y tipos de tarifas de transporte utilizados, pero los principales son:

- **Modelo de función Lineal.**- Es de la forma $f(x) = mx + b$, donde $f(x)$ es el costo total de transportación, x representa la distancia recorrida, m es un el costo variable por unidad de distancia recorrida y b es el costo fijo por realizar el desplazamiento.

Se utilizan modelos de función lineal en los casos en que se calcula el costo de transporte utilizando las variables que generan el costo de operación vehicular dentro de un solo tipo de carretera, es decir, no se incluyen variables como peajes, estado de la vía y pendiente de la vía [5].

Es un modelo de una precisión aceptable y poco complejo en su aplicación debido a que sólo necesita de la distancia recorrida para determinar el resultado [5].

- **Modelo de función escalón.**- Es de la forma $f(x) = a_{n,n+\alpha}$, $\forall x \in [n, n + \alpha)$, $n = 0, \alpha, 2\alpha, 3\alpha, \dots$. Donde $f(x)$ es el costo total de transportación, x representa la distancia recorrida, n y $n + \alpha$ son números reales que representan el inicio y el fin de un intervalo de recorrido respectivamente y $a_{n,n+\alpha}$ es el costo de recorrer de n a $n + \alpha$ unidades de distancia.

Los modelos de costos de transporte basados en la función escalón pueden ser muy útiles cuando hay zonas de transporte definidas en las cuales existen diferentes distancias que recorrer. Sin embargo para cualquier destino o distancia dentro de una zona específica se aplica un mismo costo de transporte o en este caso una misma tarifa [5].

Igual que en el modelo de función lineal, los costos son determinados en base a una misma carretera. Es un modelo poco preciso al momento de determinar costos de transporte pero práctico si se cuenta con zonas de transporte definidas y una gran cantidad de destinos. En estos casos, se facilita la labor de definir tarifas de transporte y la negociación con proveedores [5].

- **Modelo en base a rutas.**- Los modelos tarifarios en base a rutas de transporte no tienen una función matemática definida aunque se aproxima mucho a una función lineal [5].

Dentro de este modelo las variables que generan el costo de operación vehicular son determinadas en base a las características de la carretera como: peajes, estado de la carretera y geografía de la ruta [5].

El estado de la carretera y geografía de la ruta afectan el rendimiento de los neumáticos, del combustible y repuestos en general, alterando el costo de mantenimiento, el costo de neumáticos y el consumo de combustible respectivamente [5].

Es un modelo más preciso y completo para determinar costos de transporte vehicular, pero al mismo tiempo se torna complejo debido a la cantidad de información específica de la ruta que necesita para trabajar correctamente [5].

2.3.4 Costos fijos

Para el cálculo de la tarifa en equipos de transporte Cantillo [6], menciona que se pueden tener en cuenta los siguientes costos:

- Costos de capital.
- Impuestos y seguros.
- Estacionamiento y bodegaje.
- Sueldos y salarios.

2.3.5 Costos variables

Así también tenemos los siguientes costos variables [6]:

- Costo de conductor u operario del equipo.
- Combustible.
- Lubricantes.

- Llantas.
- Mantenimiento del equipo.
- Elementos de desgaste rápido.

2.3.6 Valor del dinero en el tiempo

En esta sección se mencionarán varios conceptos financieros que posteriormente serán útiles para calcular el pago mensual del vehículo a seleccionar.

El valor temporal del dinero es uno de los conceptos más importantes en finanzas. El dinero que la empresa posee hoy es más valioso que el dinero que tendrá en el futuro porque el dinero que tiene hoy puede invertirse y ganar rendimientos positivos [7].

2.3.6.1 Tasa de interés (i)

La tasa de interés (o tipo de interés) es el porcentaje al que aumenta o disminuye un capital en una unidad de tiempo, determinando lo que se refiere como "el precio del dinero en el mercado financiero" [7].

2.3.6.2 Valor principal o valor de contado (VP)

El término principal se refiere al monto de dinero sobre el que se pagan intereses [7].

2.3.6.3 Valor futuro (VF)

El valor futuro es el efectivo que se recibirá en una fecha futura específica de un monto actual colocado en depósito (o recibido en préstamo) el día de hoy, que gana (o paga) un interés a una tasa específica [7].

2.3.6.4 Anualidad (A)

Conjunto de flujos de efectivo periódicos e iguales durante un período específico. Estos flujos de efectivo pueden ser ingresos de rendimientos obtenidos por inversión o salidas de fondos invertidos para tener rendimientos futuros [7].

Existen dos tipos de anualidades:

- Anualidad ordinaria, es la que ocurre al final de cada período.
- Anualidad anticipada, es la que ocurre al inicio de cada período.

Para calcular una anualidad dado el valor presente, el número de períodos y la tasa de interés, se utiliza la Fórmula (2.1).

$$A = VP * \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] \quad (2.1)$$

A: Valor de la anualidad.

VP: Valor presente.

i: Tasa de interés.

n: Número de períodos.

2.4 Ruteo vehicular

En esta sección se explicarán diversos conceptos relacionados al problema de ruteo vehicular. Esta es la actividad que se encarga de definir la secuencia en la que se deben visitar distintos puntos de interés con uno o más vehículos. El ruteo pretende minimizar la distancia recorrida o el tiempo del recorrido, es aquí donde surge el problema de ruteo vehicular, más conocido por sus siglas en inglés como VRP (Vehicle Routing Problem). El objetivo de esta sección es adquirir la suficiente base teórica para entender el VRP, y posteriormente adaptarlo a la solución que se seleccione, Velásquez [8].

2.4.1 El Problema del Agente Viajero (TSP)

Uno de los problemas de ruteo más conocidos es el problema del agente viajero. Este problema consiste en determinar la secuencia que un vendedor debe seguir para visitar un número finito de lugares, los cuales deben ser visitados una sola vez y al final regresar al lugar de partida. La solución a este problema consiste en construir la ruta que minimice la distancia que tiene que recorrer el vendedor [8].

2.4.2 El Problema Multi-agente Viajero (m-TSP)

En el m-TSP existen m agentes viajeros, los cuales tienen que visitar un número finito de lugares y cada lugar debe ser visitado exactamente por un

agente. Cada vendedor comienza en el mismo lugar, denominado depósito, y tiene que regresar a éste al final de su jornada [8].

El VRP o problema de ruteo de vehículos es el m-TSP, en donde a cada cliente se le asocia una demanda y cada vehículo cuenta con cierta capacidad. Por lo tanto se puede considerar al problema del agente viajero como el que da origen al problema de ruteo de vehículos [8].

2.4.3 Introducción al VRP

El origen del VRP data desde el año 1959 y es introducido por Dantzing y Ramser, quienes describieron una aplicación real acerca de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron la formulación matemática a este problema [8].

El VRP surge como una generalización del problema del agente viajero. En otras palabras el agente viajero es únicamente la persona que debe visitar un cierto número de clientes y regresar al lugar de partida, ahora imaginando que se tienen 2 ó más agentes viajeros, se llega a la idea de que los clientes pueden ser repartidos entre varios visitantes. La finalidad de que se tengan muchos agentes viajeros, da a la empresa la posibilidad de ampliar su cartera de clientes pues todos ellos pueden ser visitados por alguno de los agentes [8].

2.4.4 Definición del VRP

El problema del ruteo de vehículos es ya considerado un paradigma en la literatura especializada. Este problema supone la existencia de un depósito central que cuenta con una flota de vehículos y debe atender a un conjunto de clientes geográficamente dispersos. El objetivo del VRP es entregar bienes a este conjunto de clientes con demandas conocidas, al mínimo costo, encontrando las rutas óptimas que se originan y terminan en el referido depósito. Cada cliente es servido una sola vez, para lo cual se asignan vehículos que llevarán la carga (demanda de los clientes que visitarán) sin exceder su capacidad máxima de transporte [8].

2.4.5 Formulación matemática del VRP

Delgado [9] formula el VRP como sigue. Sea $G = (V, A)$ un grafo completo donde $V = \{0, 1, 2, \dots, n, n + 1\}$ es un conjunto de vértices donde 0 y $n + 1$ representan al depósito central, y A es un conjunto de arcos que establecen las conexiones directas entre dos vértices del grafo. A cada arco $(i, j) \in A$ se le asocia un costo no negativo c_{ij} , el cual puede representar el tiempo de viaje o distancia recorrida en ir desde el vértice i al vértice j . A cada cliente i ($i = 1, 2, \dots, n$) se le asocia una demanda no negativa d_i la misma que debe ser atendida. Se considera que $d_0 = 0$.

Sea $S \subseteq V$ un subconjunto de los vértices V y $d(S) = \sum_{i \in S} d_i$ la demanda total del conjunto S . Existen K vehículos idénticos, disponibles en un depósito central, cada uno de los cuales tiene capacidad C y pueden atender a lo mucho una ruta. Tal que la demanda de cada vértice no debe exceder la capacidad máxima del vehículo ($d_i \leq C \forall i = 1, 2, \dots, n$) [9].

Sea $r(S)$ el mínimo número de vehículos necesarios para atender a todos los elementos de S [9]. X_{ij} es una variable binaria que toma el valor de uno si se conecta el nodo i con el nodo j .

Cota inferior:

$$r(S) = \lceil d(S)/C \rceil \quad (2.2)$$

Formulación:

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ij} \quad (2.3)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1 \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1 \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in V} X_{i0} = k \quad (2.6)$$

$$\sum_{j \in V} X_{0j} = k \quad (2.7)$$

$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} X_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \quad (2.8)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (2.9)$$

(2.2) Mínimo de vehículos necesarios (2.3) Función objetivo, minimizar los costos. (2.4) y (2.5) Cliente debe ser visitado una sola vez. (2.6) y (2.7) El número de vehículos no debe exceder la cantidad de vehículos disponibles. (2.8) Eliminación de sub-ciclos. (2.9) Restricciones lógicas de la variable.

2.4.6 Variantes del VRP

De acuerdo a las diferentes necesidades que tiene una empresa a la hora de repartir sus mercancías surgen las variantes del VRP, a continuación describimos dos de ellas.

2.4.6.1 Capacitated VRP-CVRP

Para este problema se cuenta con n clientes, un depósito único, y además se saben las distancias que existen de cada cliente al depósito, así como las distancias entre los clientes. Los vehículos que se utilizan para el reparto de la mercancía son de capacidad idéntica. Por lo que el problema es encontrar los recorridos que deben realizar los vehículos tal que se minimice la distancia total y se satisfaga la demanda de los clientes, con la restricción fundamental de no violar la capacidad de los vehículos [8].

Finalmente, en esta variante del VRP no existe un número definido de camiones. Además, cada recorrido visita un subconjunto de clientes y se debe comenzar y terminar en el depósito [8].

2.4.6.2 Multiple Depot VRP - MDVRP

Esta versión del VRP se caracteriza por tener más de un depósito para servir a los clientes. Si los clientes están agrupados alrededor de los depósitos, entonces el problema de distribución puede modelarse como un sistema de VRP independiente. Sin embargo, si los clientes y los depósitos están mezclados el problema de ruteo debe ser resuelto como un Vehicle Routing Problem Multi-depósito (MDVRP) [8].

Un MDVRP requiere la asignación de clientes a los depósitos, así como una flotilla de vehículos designada para cada depósito. El objetivo del problema es servir a todos los clientes mientras se reduce al mínimo el número de vehículos del recorrido [8].

2.4.7 Métodos de resolución

Comúnmente se utilizan dos técnicas para resolver el VRP. Las técnicas exactas que son el resultado de la aplicación de modelos matemáticos, que en algunos casos tienen un costo computacional muy alto. El VRP es uno de estos problemas; se lo puede resolver mediante este método haciendo uso de relajaciones que consisten en limitar el conjunto de arcos posibles.

Por otro lado tenemos las técnicas metaheurísticas, las cuales a partir de una solución inicial y siguiendo una serie de pasos ordenados de forma lógica permiten, basados en algún criterio, obtener una solución factible a un problema de optimización.

Las dos técnicas se enfocan en métodos de búsqueda global, pero las metaheurísticas a diferencia de los métodos exactos dependen del grado de robustez que posean las mismas. La robustez nos indica que tan fácil un método puede quedar atrapado en un óptimo local, es decir mientras el algoritmo sea más robusto, existe mayor probabilidad de encontrar el óptimo global.

2.4.7.1 Métodos de búsqueda global

Los métodos de búsqueda global tratan de escaparse de los máximos locales, explorando con más eficiencia el espacio de búsqueda. Generalmente, añaden algún componente aleatorio a la búsqueda, de forma que, si se encuentra un mínimo local, se salte a otro punto del espacio de búsqueda, donde pueda haber otro máximo, posiblemente global [10].

Entre los métodos de búsqueda global existentes encontramos el recocido simulado, GRASP, la búsqueda tabú, entre otros.

2.4.7.2 Recocido simulado (RS)

El método fue descrito independientemente por Scott Kirkpatrick, C. Daniel Gelatt y Mario P. Vecchi en 1983 y por Vlado Černý en 1985. Consiste en un procedimiento de ascenso de gradiente, pero tal que no siempre se escoge la mejor solución; dependiendo de una temperatura, la probabilidad de escoger una solución peor que la actual va descendiendo con el tiempo, hasta que al final del algoritmo, cuando la temperatura es 0, se escoge de forma determinista siempre la mejor solución [10]. Puesto en forma de algoritmo:

- Iniciar el procedimiento en un punto del espacio de búsqueda
- Mientras no se cumpla la condición de terminación, mejorar la solución actual, dependiendo de la temperatura.
- Actualizar la temperatura
- Volver al paso segundo

Al método que se sigue para actualizar la temperatura se le suele denominar procedimiento de enfriado o cooling schedule. Dependiendo de la temperatura, puede ser que se escojan soluciones peores, pero la probabilidad de que suceda, desciende con el tiempo y con la diferencia entre la evaluación de las dos soluciones. Para obtener una buena solución es necesario elegir una buena temperatura inicial y un procedimiento de enfriado correcto [10].

2.4.7.3 Proceso de enfriamiento (Cooling Schedule)

Según Dowsland [11], la velocidad a la que se produce el enfriamiento es otro factor clave en el éxito de la estrategia. Viene determinado por una parte por el número de iteraciones L que se ejecutarán a cada temperatura, y por otro por la velocidad a la que se realizará el enfriamiento. La teoría sugiere que se debería permitir que el sistema esté cerca de su estado estacionario correspondiente a la temperatura actual, antes de reducir ésta, y que además la temperatura vaya gradualmente acercándose al valor 0.

En los primeros años del RS se utilizaron diversos programas de enfriamiento, de los cuales dos son especialmente interesantes porque, por una parte, dominaron rápidamente las elecciones hechas por los investigadores que resolvieron problemas reales, y por otra, representan alternativas justamente opuestas. La primera, establecía una velocidad de enfriamiento de la temperatura de tipo geométrico, $T = \alpha * T$ con $\alpha < 1$. Las evidencias empíricas daban a entender que valores elevados de α , con valores entre 0.8 y 0.99 (correspondientes a velocidades lentas de enfriamiento) eran los que mejores resultados proporcionaban [11].

El número de iteraciones en cada temperatura correspondía generalmente con el tamaño del problema, variando según descendía la temperatura. Por otro lado, es importante dedicar suficiente tiempo de búsqueda a

temperaturas bajas para garantizar que se visita el óptimo local (es decir, aumentar el valor L según se reduce T) [11].

Según el segundo programa de enfriamiento, propuesto por Lundy y Mees (1986), se ejecuta una sola iteración para cada temperatura, pero por el contrario la temperatura se reduce a una velocidad muy lenta según la fórmula $t = t/(1 + \beta t)$, siendo β un valor muy pequeño [11].

La evidencia empírica y los resultados teóricos dan a entender que los detalles concretos del programa de enfriamiento no son tan importantes como la velocidad a la que se reduce la temperatura, y que tanto el programa geométrico como el de Lundy y Mees darán resultados similares cuando el enfriamiento se produzca para el mismo rango de temperaturas y para un número total de iteraciones similares [11].

2.4.7.4 Algoritmo del recocido simulado

Input (T_0, α, L, T_f)

$T \leftarrow T_0$

Sact \leftarrow *Genera_Solución_Inicial*

Mientras $T \geq T_f$

Para *Cont* \leftarrow 1 *Hasta* $L(T)$

Scand ← *Selecciona_solución_N(Sact)*

∂ ← *Costo(Scand) – Costo(Sact)*

Si $(U(0,1) < e^{\left(\frac{\partial}{T}\right)})$ ó $(\partial < 0)$

Entonces Sact ← *Scand*

FinSi

FinPara

T ← $\alpha(T)$

FinMientras

Los conceptos planteados en este capítulo, en todas sus secciones, proporcionan el fundamento necesario para poder desarrollar este proyecto y además permitan encontrar herramientas que contribuyan a alcanzar los objetivos específicos previamente enunciados.

CAPÍTULO 3

3 SOLUCIÓN PROPUESTA

En este capítulo se pretende adaptar una solución que vaya de acuerdo a la situación y necesidades de la empresa. Así como en el capítulo anterior, éste también está dividido en tres secciones: Selección de Flota, Modelo tarifario y Ruteo vehicular.

3.1 Selección de vehículo

Como se indicó anteriormente una buena práctica para realizar la selección de un vehículo, que es el activo principal de la empresa de transporte, es analizar los aspectos: económicos, técnicos y de post-venta relacionados. De tal forma se lo hará en el presente trabajo.

En el mercado ecuatoriano existen tres modelos de vehículos, de distintas marcas, disponibles para entrar al concurso de selección. Los vehículos candidatos son:

- Pregio – KIA.
- H1 – Hyundai.
- VAN N200 - Chevrolet.

Para cada una de las opciones se realizará el mismo análisis que finalmente ayudará a seleccionar el vehículo adecuado.

3.1.1 Aspectos económicos para la selección de flota

Se considera como valor referencial del vehículo el valor de contado o valor principal del vehículo. Se toma este valor referencial debido a que el vehículo seleccionado será financiado por la misma entidad crediticia, lo que deriva en un mismo interés y en un mismo plazo de pago.

Además se analizará el valor por pasajero de cada vehículo el cual se obtiene dividiendo el valor del vehículo por la capacidad del mismo.

Los precios de los vehículos candidatos en el mercado ecuatoriano se muestran en la Tabla 3-1.

MARCA	KIA	HYUNDAI	CHEVROLET
MODELO	PREGIO	H1	N200
VALOR CONTADO	\$ 31.690,00	\$ 33.390,00	\$ 14.540,00

Tabla 3-1. Precios de vehículos a septiembre del 2011.

Las proporciones precio-capacidad se muestran en la Tabla 3-2.

MARCA	KIA	HYUNDAI	CHEVROLET
MODELO	PREGIO	TQH1	N200
CAPACIDAD(PASAJEROS)	17	12	8
VALOR POR PASAJERO	\$ 1.864,12	\$ 2.782,50	\$ 1.817,50

Tabla 3-2. Relación precios capacidad.

3.1.2 Aspectos técnicos del vehículo

En esta sección se consideran los aspectos técnicos más importantes de cada vehículo. Para obtener la información sobre las furgonetas fue necesario visitar los concesionarios de cada una de las marcas participantes. Posteriormente se consolidó la información y se definieron las siguientes características:

- Motor.
 - *Alimentación.*
 - *Cilindros.*
 - *Cilindrada.*
 - *Válvulas.*
 - *Potencia.*
 - *Torque.*
 - *Combustible.*
- Transmisión y Chasis.
 - *Transmisión.*
 - *Frenos (Del. - Tras.)*
 - *Motor – Tracción.*
 - *Suspensión delantera.*
 - *Suspensión trasera.*
 - *Neumáticos.*
- Medidas y Capacidades.
 - *Largo y alto.*
 - *Peso.*
 - *Ancho con espejos.*
 - *Ancho sin espejos.*
 - *Capacidad de carga.*
 - *Distancia entre ejes.*

- *Tanque de combustible.*
- Confort.
- Seguridad.
- Comunicación y entretenimiento.

3.1.3 Análisis de servicio post-venta

Entre las variables consideradas para evaluar el servicio post-venta definimos las siguientes:

- Posición competitiva
 - Respaldo y Trayectoria.
 - *Posicionamiento en el país.*
 - *Procedencia vehículos.*
 - *Representación y Solidez.*
- Repuestos y mantenimiento.
 - Siniestralidad
 - *Costos componentes.*
 - *Tiempos de cambio.*
 - Repuestos y garantías.
 - *Disponibilidad de repuestos.*
 - *Tiempos de respuesta.*

En este proyecto se consideran solamente 2 variables de las 5 que se mencionan en el marco teórico, debido que la empresa determinó que las otras 3 variables no eran representativas para este estudio.

3.1.4 Forma de evaluación

Para evaluar cada una de las opciones se realizó un estudio de mercado exploratorio por medio de entrevistas a cuatro profesionales relacionados al tema. Se lo hizo de esta manera porque se necesitaba tener una idea más clara sobre las características y variables de los aspectos técnicos y servicio post-venta de cada vehículo respectivamente, mas no conocer las tendencias del mercado en ese instante. Es decir el vehículo que se seleccionará para alcanzar uno de los objetivos específicos estará basado en las opiniones de los entrevistados.

Los entrevistados deben ser personas con sólidos conocimientos de vehículos, repuestos y demás características afines, porque finalmente su opinión definirá la opción seleccionada. Es por eso que se entrevistó a tres profesionales del sector mecánico automotriz y un representante de la empresa relacionado con el área de logística y distribución.

El estudio consistió en calificar en un intervalo de uno a diez cada una de las características y variables de los aspectos técnicos y de servicio post-venta

respectivamente utilizando una escala de calificación continua. Donde la calificación uno significa pésimo y diez significa excelente.

--	1	2	...	9	10
No tiene conocimiento	Pésimo				Excelente

Tabla 3-3. Escala de evaluación.

Los evaluadores tuvieron la opción de no opinar respecto de alguna característica o variable si no tenía conocimiento de la misma. Si este fuere el caso, el valor de esa característica no sería tomado en cuenta al momento de calcular los promedios. Por ejemplo, para la característica “Embrague”, para el modelo N200, el Evaluador 3 no calificó esa característica, por lo tanto no fue considerada para el cálculo del promedio.

Embrague	KIA PREGIO	Hyundai H-1	Chevrolet N200
Evaluador 1	8	9	10
Evaluador 2	8	8	7
Evaluador 3	10	8	--
Evaluador 4	9	9	9
PROMEDIO	8.75	8.50	8.67

Tabla 3-4. Ejemplo de tabla de evolución de característica.

3.1.5 Matriz de ponderación

En esta herramienta se consolidan las categorías y subcategorías evaluadas, con sus respectivos porcentajes de importancia. Además de los valores obtenidos en las entrevistas.

Los porcentajes fijados para cada una de las características se definieron mediante consenso con representantes de la empresa. Quienes por tener más conocimiento de las necesidades del negocio fueron los indicados para

establecer dichos porcentajes. A continuación se muestra la matriz de ponderación adecuada a este problema.

Pesos	Ítems	Peso C/U	OPC. 1	OPC. 2	OPC. 3	ASPECTO
20%	Análisis Técnico					TÉCNICO (45%)
	Motor	30%				
	Caja	15%				
	Embrague	15%				
	Longitud Total	20%				
	Diámetro de giro	10%				
	Sistema de Frenos	10%				
20%	Capacidad					
	Número de pasajeros sentados	100%				
5%	Ergonomía					
	Señalización y simbología	40%				POST-VENTA (25%)
	Comodidad Conducción	60%				
5%	Respaldo y Trayectoria					
	Posicionamiento en el país	30%				
	Procedencia vehículos	30%				
	Representación y Solidez	40%				
10%	Siniestralidad					
	Costos componentes	40%				
	Tiempos de cambio	60%				
10%	Repuestos y garantías					
	Disponibilidad de repuestos	55%				
	Tiempos de respuesta	45%				
30%	Precio					ECONÓMICO (30%)

Tabla 3-5. Esquema de la matriz ponderación.

3.2 Modelo tarifario para determinar costos

En esta parte del documento se utilizarán los conceptos establecidos en el marco teórico para construir un modelo tarifario que se ajuste a la situación actual de la empresa.

Cabe recalcar que en el marco teórico no se definieron conceptos asociados a modelos tarifarios que dependan de la carga debido a la naturaleza del problema, cuya unidad de transportación son personas. Debido a que la capacidad máxima de transportación en furgonetas no es alta y no influye considerablemente en los costos variables.

Lo primero que se debe hacer para elaborar el modelo tarifario es definir el objetivo que se persigue, que en este caso es definir el costo del servicio. Luego se debe analizar el entorno del problema. Para lo cual podemos definir los siguientes factores:

- El problema principalmente se enfoca en los horarios de recolección de la madrugada.
- Los empleados deben estar en la empresa por lo menos 10 minutos antes de las 5 am.
- No existe transporte público en ese horario.

- Los elementos que se deben recoger son personas.
- Los domicilios de algunos empleados se encuentran en zonas categorizadas como peligrosas.
- El tráfico no es considerable.
- Capacidad de vehículos.
- Infraestructura de las vías uniforme.
- No existe un número de pendientes considerables dentro de la ciudad.

3.2.1 Modelo de función lineal adaptado al proyecto

Se eligió este modelo por los factores que definen el entorno del problema. Es decir que no existen peajes, o grandes diferencias en la infraestructura vial que hagan variar considerablemente los costos de transporte entre un lugar y otro.

Además se conoce que este modelo tiene una precisión aceptable en entornos similares al que se tiene en este problema. Y finalmente su poca complejidad resultó un factor determinante al momento de seleccionarlo. En la ecuación (3.1) se muestra la estructura de la función lineal de costos del operador; X representa el número de kilómetros recorridos.

$$\text{Costo mensual}(X) = \text{CostoFijo} + \text{CostoVariable} * X \quad (3.1)$$

3.2.1.1 Definición costos fijos

- **Pago de la cuota del vehículo**

Para calcular el pago de la anualidad del vehículo utilizamos la fórmula descrita en la sección 2.2.5.4, considerando un interés mensual efectivo del 0,76 % tomado de la página del Banco Central del Ecuador [12] a un período de sesenta meses.

- **Matrícula**

El valor de la matrícula es un valor que se paga anualmente y es calculado de acuerdo a leyes de tránsito vigentes. Las variables que influyen en el valor de la matrícula son: año, marca, modelo y precio del vehículo. El valor que se utiliza para realizar este cálculo es el promedio de los primeros cinco años, que corresponden al plazo de financiamiento del vehículo, como se lo estableció en el párrafo anterior.

El valor de la matrícula se obtendrá del Servicio de Rentas Internas (SRI) una vez seleccionado el vehículo. En base a un vehículo con las mismas características (marca, modelo, año y actividad) del seleccionado en este trabajo.

- **Seguro**

El valor del seguro depende de los mismos factores que la matrícula además de la institución aseguradora. Es común encontrar que el valor del seguro disminuye a medida que se deprecia el vehículo. Este valor utilizado para el desarrollo del modelo tarifario también es el promedio de los primeros 5 años, igual que la matrícula.

Para este trabajo se obtendrá el valor del seguro de una empresa que opere en el mercado ecuatoriano.

- **Baterías**

La vida útil de la batería es el factor que determina los gastos anuales de este rubro. Se suele considerar para este tipo de análisis una vida útil de un año [13].

- **Sueldos de choferes**

El cálculo para el pago de salarios de choferes debe estar de acuerdo a las normas laborales vigentes en el país, como se muestra en la Tabla 3-6.

NOMBRE EMPRESA			
Mes:		Cargo:	
Empleado:			
Sucursal:		ID:	
INGRESOS		EGRESOS	
Sueldo		Quincena	
Décimos		Aporte IESS	
Tercero		Multas	
Cuarto		Anticipo de sueldo	
Vacaciones pagadas			
Otros ingresos			
Total		Total	
		A recibir:	

Tabla 3-6. Estructura de rol de pago.

En la Tabla 3-7 se muestra la estructura que tendrá el resumen de los costos fijos.

COSTOS FIJOS	VALOR	VALOR ANUAL	VALOR MENSUAL
Vehículo			
Matrícula			
Seguro			
Batería			
Sueldo chofer			
TOTAL COSTO FIJO			

Tabla 3-7. Ejemplo de detalle de costos fijos.

3.2.1.2 Definición de costos variables

- **Consumo de combustible**

El costo del combustible se encuentra en dólares por kilómetro (\$/Km), el mismo que se calcula tomando en cuenta las siguientes razones:

- Precio de cada galón de Combustible.

$$\left(\frac{\$}{\text{Galón}} \right) \quad (3.2)$$

- Número de kilómetros recorridos por cada galón.

$$\left(\frac{Km}{Galón} \right) \quad (3.3)$$

El cálculo consiste en dividir el precio de cada galón para el número de kilómetros recorridos por galón.

$$\frac{\$}{Km} (Diesel) = \left(\frac{\$}{Galón} \right) \left(\frac{1}{\frac{Km}{Galón}} \right) \quad (3.4)$$

Dado que los candidatos tienen el mismo cilindraje, existen pruebas de carretera que han determinado que sin importar marca y modelo, los vehículos de cuatro cilindros tienen un consumo similar que converge a 62,5 Km/Gal en carretera [14]. En el sector urbano se ha estimado que el rendimiento oscila entre los 34.09 y 41.66 Km/Gal [15].

- **Costos de Mantenimiento**

Para calcular el costo de mantenimiento se tomaron en cuenta dos situaciones, que el vehículo termine la garantía en cinco años o termine la garantía en 100,000 kilómetros.

Para la primera situación el costo de mantenimiento se calcula dividiendo la suma de todos los pagos de mantenimiento para cinco años, luego dividimos para el número de kilómetros recorridos durante la garantía.

$$\frac{\$}{Km} (Mant.) = \left(\frac{\text{Total en dolares pagado por mantenimiento en los 5 años de garantía .}}{5 \text{ años}} \right) * \frac{5 \text{ años}}{Km \text{ recorridos en 5 años}} \quad (3.5)$$

En la segunda situación se divide la suma de todos los pagos para el tiempo en el cual recorrió los 100,000 Kilómetros, luego dividimos para los 100,000 kilómetros.

$$\frac{\$}{Km} (Mant.) = \left(\frac{\text{Total en dolares pagado por mantenimiento en los años que duró la garantía .}}{\text{Años de duracion de la garantía}} \right) * \frac{100,000 Km}{100,000 Km} \quad (3.6)$$

Este costo variable depende del número de kilómetros recorrido por año (Km/Año), este factor determinará el tipo de garantía que se debe considerar. Para encontrar este factor se deben realizar varias iteraciones seleccionando aleatoriamente el personal que debe ser recogido utilizando el algoritmo de optimización de rutas.

- **Costo de Llantas**

El costo variable de las llantas se calcula dividiendo el precio de la llanta para los Km de vida útil.

$$\frac{\$}{Km} (Llantas) = \frac{Precio}{Vida \text{ útil}} \quad (3.7)$$

3.2.2 Valor del servicio de transporte

Una vez definido el costo lineal de transportación se debe definir el valor del servicio de transporte en el que la empresa incurre. Si consideramos una utilidad del 15% mensual para el operador, el valor que la empresa debería cancelar esta dado por la siguiente fórmula.

$$Valor \ del \ servicio(X) = 1.15 * Costo \ mensual * X \quad (3.8)$$

Donde X representa el número de kilómetros recorridos en un mes.

3.3 Metaheurística para realizar el ruteo vehicular

Para el problema de transporte que se analiza en este proyecto, el modelo que más se adapta a la situación está dado por una combinación entre un CVRP debido a que las furgonetas tienen una capacidad máxima de transportación y un MDVRP porque las furgonetas parten de dos depósitos diferentes con destino hacia la bodega, lo cual puede interpretarse como tres

depósitos. Es por esto que el modelo a utilizar será un MDCVRP (Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem). Además de esto se debe considerar que los vehículos seleccionados son del mismo modelo y marca, por lo que podemos concluir que la flota es de tipo homogénea.

Dado que el VRP es un problema que no se puede resolver de forma exhaustiva debido a su alto costo computacional, a no ser que se utilicen relajaciones. Lo cual consiste en crear un conjunto de arcos factibles que la solución puede considerar. Como no existe un criterio específico para seleccionar estos arcos se decidió utilizar un método metaheurístico.

El método de solución seleccionado es el Recocido Simulado que se sabe que desde un punto de vista práctico, ha 'resuelto' el problema del viajante de comercio o agente viajero [16]. Se considera como solución inicial una solución factible del VRP hallada con el criterio del vecino más cercano.

Una vez obtenida la solución del recocido simulado para todos los nodos a esta solución se le llamará mejora general. Luego se ejecutará una mejora particular para cada una de las rutas de la mejora general aplicando el mismo proceso de recocido simulado. Finalmente el resultado estará constituido por la unión de las mejoras particulares.

3.3.1 Datos del modelo

- **Destino.-** Punto donde deben llegar todos los vehículos

$$\text{Destino} = \{\text{Bodega}\}$$

- **Orígenes.-** Lugar de donde parten los vehículos.

$$\text{Origenes} = \{\text{Origen } 1, \dots, \text{Origen } k\}$$

- **Empleados.-** Conjunto de empleados que deben ser recogidos en un día determinado.

$$\text{Empleados} = \{\text{Nod } 1, \dots, \text{Nod } m\}$$

- **Lista de puntos para resolver el ruteo.-** Unión de Bodega, Orígenes y Empleados.

$$\text{Puntos} = \{\text{Destino}, \text{Origenes}, \text{Empleados}\}$$

- **Capacidad.-** Considerando que se cuenta con una flota homogénea se tiene una misma capacidad para todos los vehículos.

$$\text{Cap} \in \mathbb{Z}^+$$

- **Distancias.-** Distancias entre todos los *Puntos*.

$$\text{Distancias}(i, j) \quad \forall i, j \in \text{Puntos}$$

- **Coordenadas.-** Coordenadas de las ubicaciones geográficas de: Destino, Orígenes y Empleados.

$$\text{Coordenadas}(i) \quad \forall i \in \text{Puntos}$$

3.3.2 Estructura de la solución

Para efectos de la programación se ha considerado la siguiente estructura para representar una solución del MDCVRP.

$$\{\{Bodega, Origen1\}, Nod1, Nod2, \{Bodega, Origen2\}, Nod3, Nod4\}$$

La estructura anterior representa dos rutas con capacidad de carga utilizada de 2 unidades cada una, que parten desde los orígenes hasta la bodega. La primera realiza el siguiente recorrido: $Origen1 \rightarrow Nod1 \rightarrow Nod2 \rightarrow Bodega$. Y la segunda realiza el recorrido: $Origen2 \rightarrow Nod3 \rightarrow Nod4 \rightarrow Bodega$.

3.3.3 Heurística para solución inicial

El recocido simulado es un algoritmo de mejora que parte de una solución inicial. Para este trabajo tomaremos como solución inicial la heurística del vecino más cercano (VMC), que consiste en visitar simultáneamente todos los puntos comenzando por el que se encuentra más cerca de la posición actual y así sucesivamente.

Se creó una función para obtener esta solución inicial, llamada MDCVRPVMC.

$$MDCVRPVMC[Puntos, Origenes, Destino, Distancias, Cap]$$

Y devuelve una solución de la forma especificada en la sección 3.3.2.

En la Figura 3-1 se muestra la solución inicial del MDCVRP utilizando el algoritmo del vecino más cercano el cual tiene un recorrido de 181.02 Km. Y en la Figura 3-2 usando el recocido simulado se obtiene un recorrido de 150.13. Lo cual representa un ahorro de 30.89 Km, es decir 17.06%.

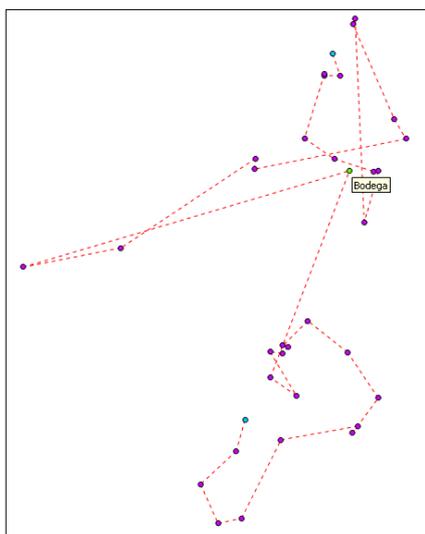


Figura 3-1. Ejemplo MDCVRP resuelto con VMC.

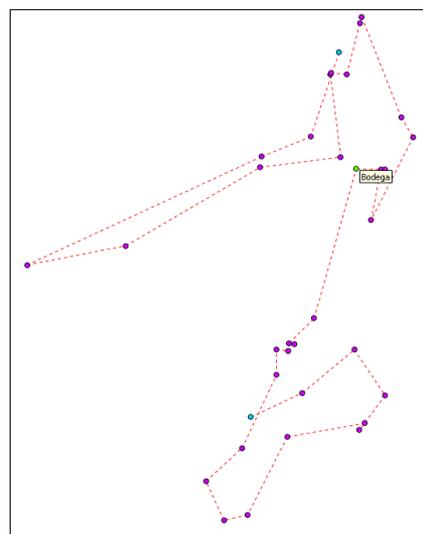


Figura 3-2. Ejemplo MDCVRP resuelto usando RS.

3.3.4 Funciones que permiten modificar la estructura de la solución

En esta sección se hablará de las funciones que permiten transformar la estructura de la solución a una estructura basada en arcos, para poder obtener los costos de la ruta.

3.3.4.1 Camino2Arcos

Esta función recibe una solución en forma de camino como se define en 3.3.2. Y devuelve una solución en forma de arcos.

$$\text{Camino2Arcos}[\text{Camino}]$$

Por ejemplo considere el camino C.

$$C = \{\{Bodega, Origen1\}, Nod1, Nod2, \{Bodega, Origen2\}, Nod3, Nod4\}.$$

Entonces

$$\text{Camino2Arcos}[C] =$$

$$\{Bodega \rightarrow Origen1, Origen1 \rightarrow Nod1, Nod1 \rightarrow Nod2, Nod2 \rightarrow Bodega, \\ Bodega \rightarrow Origen2, Origen2 \rightarrow Nod3, Nod3 \rightarrow Nod4, Nod4 \rightarrow Bodega\}$$

3.3.4.2 SeparaArcos

Esta función recibe un camino en forma de arcos depurados, el conjunto de orígenes y el destino. Finalmente devuelve los arcos separados por rutas.

$$\text{SeparaArcos}[\text{Arcos}, \text{Destino}]$$

Por ejemplo sea el camino en forma de arcos depurados CAD

$$CAD = \{Origen1 \rightarrow Nod1, Nod1 \rightarrow Nod2, Nod2 \rightarrow Bodega, \\ Origen2 \rightarrow Nod3, Nod3 \rightarrow Nod4, Nod4 \rightarrow Bodega\}$$

Entonces

$$\text{SeparaArcos}[CAD, \text{Origenes}, \text{Destino}] =$$

$$\{\{Origen1 \rightarrow Nod1, Nod1 \rightarrow Nod2, Nod2 \rightarrow Bodega\}, \\ \{Origen2 \rightarrow Nod3, Nod3 \rightarrow Nod4, Nod4 \rightarrow Bodega\}\}$$

3.3.5 Funciones del RS adaptadas al MDCVRP

En esta sección se adaptan las funciones básicas necesarias para el desarrollo del recocido simulado tomando en cuenta la estructura de la solución planteada en 3.3.2.

3.3.5.1 Función de costo

Esta función recibe un camino en forma de arcos depurados separados por rutas (Vea 3.3.5.3), las distancias y los puntos. Devuelve el costo de la solución.

Costo[CAD, Distancias, *Puntos*]

3.3.5.2 Función de búsqueda de solución vecina

Recibe una solución en forma de camino, la capacidad de los vehículos, el conjunto de orígenes y el destino. Finalmente esta función devuelve una solución vecina que consiste en el cambio de posición de dos puntos o nodos dentro del camino de forma aleatoria.

CambiaNodo[Camino, Cap, Destino]

3.3.6 Proceso de enfriamiento

Se sabe que el éxito en el desarrollo del RS no está en una función de enfriamiento particular, sino en el número de repeticiones que se realizan con dicha función. Por ese motivo se utilizará la función más simple que da

buenos resultados, utilizando los parámetros recomendados. Esta función es la geométrica con un valor de alfa entre 0.8 y 0.99.

$$T_o = \alpha * T_o$$

3.3.7 Algoritmo general del RS aplicado al MDCVRP

A continuación mostraremos el algoritmo general del RS que soluciona el MDCVRP. Adicionalmente se le implementó una variante que permite guardar el mejor resultado de todas las iteraciones, denominado MinCam.

Tf = Temperatura final

To = Temperatura inicial

L = Intercambios por cada temperatura

α = factor de enfriamiento

Solución actual = MDCVRPVMC[Puntos, Origenes, Destino, Distancias, Cap]

MinCamino = Solución actual

Mientras To ≥ Tf

Para i = 1 hasta L

SolucionCandidata = CambiaNodo[Solución inicial, Cap, Destino]

ArcSCand = SeparaArcos[Camino2Arcos[SolucionCandidata], Destino]

ArcSAct = SeparaArcos[Camino2Arcos[Solución actual], Destino];

d = Costo[ArcSCand, Distancias, Puntos] – Costo[ArcSAct, Distancias, Puntos];

Ran = Aleatorio uniforme (0,1);

Si $\left(\text{Ran} < e^{-\frac{d}{T_0}} \right)$ ó $(d < 0)$

Solución actual = SolucionCandidata;

FinSi

ArcSAct = SeparaArcos[Camino2Arcos[Solución actual], Destino];

ArcMinCam = SeparaArcos[Camino2Arcos[MinCamino], Destino]

d2 = Costo[ArcSAct, Distancias, Puntos] – Costo[ArcMinCam, Distancias, Puntos]

Si $(d2 < 0)$

MinCamino = Solución actual

FinSi

*To = $\alpha * To$*

FinPara

FinMientras

3.4 Herramientas informáticas

Antes de comenzar a diseñar una solución para este problema se deben definir las distintas herramientas informáticas a utilizar. A continuación se hace una breve reseña de las herramientas y se comenta el motivo por cual se la utilizó.

3.4.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel es una aplicación que sirve para manejar hojas de cálculo. Este programa es desarrollado y distribuido por Microsoft, y es utilizado normalmente en tareas financieras y contables.

Dentro de esta aplicación se realizarán los cálculos relacionados con el modelo tarifario y la selección del vehículo a través del análisis anteriormente descrito. Los resultados se presentarán en forma de tablas con sus respectivos detalles para su posterior interpretación.

3.4.2 Google Earth

Es un programa desarrollado por Keyhole Inc. similar a un sistema de información geográfica (GIS). Por medio de la utilización del motor de búsqueda de Google permite visualizar imágenes a escala y en 3D de algún lugar del planeta. Y que se encuentra actualmente su versión 6.0.1. Esta herramienta cuenta con una función para obtener la distancia entre dos puntos considerando las calles y el sentido de las vías.

Se eligió este programa por su facilidad de uso y porque se puede conseguir una versión gratuita directamente del sitio web del fabricante. Se utiliza el programa para obtener distancias entre dos puntos determinados ubicados dentro de la ciudad, esto nos permite obtener distancias más reales que si se utilizara la fórmula euclidiana.

3.4.3 Wolfram Mathematica 7.0

La compañía que desarrolla este programa es Wolfram Research. Es una herramienta versátil utilizada en muchas áreas, con ésta se resuelven desde cálculos matemáticos básicos hasta el manejo de imágenes médicas. Cuenta con un lenguaje de tipo simbólico que además de ser fácil de entender para el usuario lo convierte en una poderosa herramienta computacional.

En este programa se desarrollarán los algoritmos que se definieron en secciones anteriores. Se elaborarán gráficos que representen las soluciones y finalmente se obtendrán los resultados numéricos del problema.

CAPÍTULO 4

4 APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos luego de implementar las soluciones elaboradas en el capítulo anterior. Los resultados consisten en la elección del vehículo apropiado a las necesidades de la empresa, además de la definición de una tarifa de transporte y el análisis de los resultados obtenidos utilizando el RS para mejorar las rutas.

4.1 Vehículo seleccionado

Después de efectuar las entrevistas definidas en la sección 3.1.4 a cuatro evaluadores, tabular los datos e ingresarlos en la matriz de ponderación (Véase 3.1.5) se obtuvieron los siguientes resultados.

Pesos	Características/VARIABLES	Peso C/U	PREGIO	H-1	VAN N200	ASPECTO
20%	Análisis Técnico		8.16	8.80	8.20	TÉCNICO (45%)
	Motor	30%	7.00	9.00	7.67	
	Caja	15%	8.00	8.00	7.00	
	Embrague	15%	8.75	8.50	8.67	
	Longitud Total	20%	8.75	8.75	8.67	
	Diámetro de giro	10%	8.50	9.25	8.67	
	Sistema de Frenos	10%	9.50	9.50	9.50	
20%	Capacidad		10.00	7.06	4.71	
	Número de pasajeros sentados	100%	10.00	7.06	4.71	
5%	Ergonomía		8.70	9.65	8.20	
	Señalización y simbología	40%	9.00	9.50	8.50	POST- VENTA (25%)
	Comodidad Conducción	60%	8.50	9.75	8.00	
5%	Respaldo y Trayectoria		9.40	9.06	8.40	
	Posicionamiento en el país	30%	9.00	8.75	8.67	
	Procedencia vehículos	30%	9.00	9.00	7.33	
	Representación y Solidez	40%	10.00	9.33	9.00	

10%	Siniestralidad		8.40	8.35	8.20	
	Costos componentes	40%	7.50	8.50	9.00	
	Tiempos de cambio	60%	9.00	8.25	7.67	
10%	Repuestos y garantías		9.73	9.55	8.49	
	Disponibilidad de repuestos	55%	9.50	10.00	7.67	
	Tiempos de respuesta	45%	10.00	9.00	9.50	
30%	Precio		8.50	8.00	8.67	ECONÓMICO (30%)

Tabla 4-1. Matriz de ponderación resultante.

Con los datos de la Tabla 4-1 se puede valorar las distintas alternativas de vehículos. La valoración final se muestra en la siguiente tabla.

Pesos	Características/VARIABLES	PREGIO	H-1	VAN N200
20%	Análisis Técnico	8.16	8.80	8.20
20%	Capacidad	10.00	7.06	4.71
5%	Ergonomía	8.70	9.65	8.20
5%	Respaldo y Trayectoria	9.40	9.06	8.40
10%	Siniestralidad	8.40	8.35	8.20
10%	Repuestos y Garantías	9.73	9.55	8.49
30%	Precio	8.50	8.00	8.67
TOTAL CALIFICACION		8.90	8.30	7.68

Tabla 4-2. Resumen de la matriz de ponderación.

En la Tabla 4-2 se muestra la calificación total obtenida por cada uno de los vehículos evaluados.

4.2 Resultados del modelo tarifario

Como se definió previamente, el modelo utilizado sería de tipo lineal. El cual consta de costos fijos y variables. A continuación detallamos los valores encontrados para los dos tipos de costos.

- Costos variables.

	\$/KM
Costo mantenimiento x vehículo	0.049
Costo Combustible	0.060
Costo llantas	0.011
TOTAL COSTOS VARIABLES	0.120

Tabla 4-3. Costos variables.

- Costos fijos.

	VALOR MENSUAL
Cuota del vehículo	\$ 695.35
Matricula	\$ 10.00
Seguro	\$ 83.33
Batería	\$ 11.20
Sueldo chofer	\$ 517.96
TOTAL COSTO FIJO	\$ 1,317.84

Tabla 4-4. Costos fijos.

Una vez establecidos los costos fijos y variables se puede elaborar la función de costos. El modelo de la función de costos mensual es el siguiente:

$$\text{Costo mensual}(X) = 1,317.84 + 0.12 * X \quad (4.1)$$

$$\text{Valor del servicio}(X) = 1.15 * (1,317.84 + 0.12 * X) \quad (4.2)$$

Las funciones de costo mensual y valor del servicio generan resultados en dólares americanos. Donde X representa el número de kilómetros recorridos en un mes.

4.3 Análisis de resultados del ruteo

Se realizó una serie de iteraciones utilizando el criterio del VMC, posteriormente fueron mejoradas usando el RS y se calculó el ahorro

promedio que generó el RS, evaluado para temperaturas iniciales de 50, distintos parámetros de la función de enfriamiento y distinto número de repeticiones por temperatura. Se consideró la utilización máxima de los vehículos, lo cuales tienen una capacidad de 16 pasajeros sin incluir el conductor, es decir 32 pasajeros o nodos.

	Vecino más cercano (VCM)	Recocido simulado (RS)	Mejor solución encontrada (MRS)	Tiempo de corrida (seg.)	Mejor recocido simulado por ruta (MRSR)	Tiempo de corrida	Ahorro en km entre VMC y MRSR	Ahorro porcentual entre VMC y MRSR
1	158.257	147.406	142.436	1852.031	130.107	1276.672	28.15	17.79%
2	177.891	168.191	165.641	1857.109	165.641	1279.375	12.25	6.89%
3	140.54	151.13	140.54	1855.328	132.03	1277.859	8.51	6.06%
4	144.781	158.281	144.781	1856	134.521	1276.453	10.26	7.09%
5	167.007	155.787	151.457	1855.672	149.457	1276.921	17.55	10.51%
6	147.546	165.54	147.546	1895.515	142.296	1310.625	5.25	3.56%
7	184.227	157.827	157.027	1888.328	152.727	1311.875	31.5	17.10%
	160.0356				143.8256		16.21	9.85%

Tabla 4-5. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=6000$, $\alpha=0.8$.

	Vecino más cercano (VCM)	Recocido simulado (RS)	Mejor solución encontrada (MRS)	Tiempo de corrida (seg)	Mejor recocido simulado por ruta (MRSR)	Tiempo de corrida	Ahorro en km entre VMC y MRSR	Ahorro porcentual entre VMC y MRSR
1	158.257	140.327	136.307	1932.032	136.307	1330.641	21.95	13.87%
2	177.891	166.781	163.751	1933.329	163.681	1334.094	14.21	7.99%
3	140.54	137.59	131.58	1931.265	128.29	1331.031	12.25	8.72%
4	144.781	139.521	135.851	1932.141	135.851	1329.25	8.93	6.17%
5	167.007	152.121	138.527	1932.422	135.657	1330.812	31.35	18.77%
6	147.546	160.496	147.546	2028.734	142.296	1361.141	5.25	3.56%
7	184.227	179.407	171.637	1983.796	152.137	1365.5	32.09	17.42%
	160.0356				142.0313		18.00	10.93%

Tabla 4-6. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=4500$, $\alpha=0.85$.

	Vecino más cercano (VCM)	Recocido simulado (RS)	Mejor solución encontrada (MRS)	Tiempo de corrida (seg)	Mejor recocido simulado por ruta (MRSR)	Tiempo de corrida	Ahorro en km entre VMC y MRSR	Ahorro porcentual entre VMC y MRSR
1	158.257	138.261	131.907	1958.14	131.807	1348.922	26.45	16.71%
2	177.891	175.36	169.481	1959.234	167.981	1349.468	9.91	5.57%
3	140.54	155.89	140.54	1957.25	134.93	1347.859	5.61	3.99%
4	144.781	145.591	137.42	1957.765	135.92	1347	8.861	6.12%
5	167.007	152.377	148.677	1956.968	140.936	1347.156	26.071	15.61%
6	147.546	156.896	147.546	1987.89	140.816	1378.453	6.73	4.56%
7	184.227	168.201	162.967	1998.25	152.137	1377.937	32.09	17.42%
	160.0356				143.5039		16.53	9.998%

Tabla 4-7. Iteraciones del algoritmo con $T_o=50$, $T_f=1$, $L=3000$, $\alpha=0.9$.

Los resultados encontrados se muestran en las Tablas 4-5, 4-6 y 4-7. Se pueden observar las distintas reacciones que tiene el algoritmo para los diferentes valores de α y de L . Por ejemplo: para la primera iteración, con $\alpha=0.80$ y $L=6000$ el tiempo de corrida del RS es 30.87 minutos y con $\alpha=0.85$ y $L=4500$ el tiempo de corrida es 32.20 minutos.

Las características del ordenador utilizado para realizar las iteraciones son las siguientes:

- Procesador: Dual Core 2.4 GHz.
- Memoria RAM: 3 Gb, DDR 2-667/533.
- Sistema Operativo: Windows XP Professional SP3.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después de haber realizado el estudio de mercado exploratorio y la tabulación de los datos, el vehículo que obtuvo la mayor puntuación fue la furgoneta KIA-PREGIO con una puntuación total de 8.90, seguido de la furgoneta Hyundai-H1 con una puntuación de 8.30 y en último lugar la furgoneta Chevrolet-VAN N200 con una puntuación de 7.68.

Un vez ejecutadas las distintas iteraciones se encontró que el número promedio de kilómetros recorridos por día y por ruta es 71.91 Km, considerando únicamente el recorrido de la madrugada. Por medio de lo cual sabemos que la garantía se vence a los 100,000 Km, antes de los cinco años.

Otro resultado obtenido de las iteraciones es la distancia promedio bajo el criterio de solución del vecino más cercano por día por las dos rutas, la cual es 160.03 Km y la distancia promedio utilizando la metaheurística del recocido simulado con un valor de 143.12 Km, si transformamos estas

distancias a costos utilizando la función previamente establecida obtenemos un ahorro del 4% que representa un valor de \$140.9 mensuales.

La función *CambiaNodo*, realiza el cambio de dos nodos repetidamente hasta encontrar una solución que cumpla la restricción de capacidad. Si se utiliza la capacidad máxima de los vehículos es más probable que la función *CambiaNodo* genere más repeticiones antes de encontrar una solución factible, lo que produce que el algoritmo se resuelva en un mayor tiempo computacional.

Dentro de la función de costos de transporte el parámetro que eleva el valor del servicio es el costo fijo el cual es \$1,317.84 mensual.

Considerando el kilometraje diario promedio se obtiene un costo total mensual de \$3,569.67 y un costo por persona mensual de \$111.55. Comparando con el valor total actual en temporada alta el cual es \$3,720.00 y cuyo costo por persona es \$116.25, se obtuvo un ahorro del 4.04% con el nuevo modelo de costos. Véase Tabla 5-1.

Costo Actual	Costo Mejorado	Personas Transportadas Diariamente	Costo Actual Por Persona	Costo Mejorado Por Persona	Ahorro
\$ 3,720.00	\$ 3,569.67	32	\$ 116.25	\$ 111.55	4.04%

Tabla 5-1. Resumen de mejora del costo mensual por persona considerando 40 horas de trabajo semanales por furgoneta.

Es importante recalcar que dentro de la función de costos diseñada en este proyecto existe un componente fijo correspondiente al sueldo de un chofer, el cual debe cumplir cuarenta horas semanales de trabajo, es decir aproximadamente 6 horas diarias. Pero el período de recolección se realiza en un tiempo aproximado de dos horas. Si consideramos que el chofer trabaja jornadas parciales [17] de dos horas diarias, obtendríamos un costo total mensual de \$2,795.32 y un costo por persona mensual de \$87.35, lo cual genera un ahorro del 24.86%. Véase Tabla 5-2.

Costo Actual	Costo Mejorado	Personas Transportadas	Costo Actual Por Persona	Costo Mejorado Por Persona	Ahorro
\$ 3,720.00	\$ 2,795.32	32	\$ 116.25	\$ 87.35	24.86%

Tabla 5-2. Resumen de mejora del costo mensual por persona considerando 14 horas de trabajo semanales por furgoneta.

No es posible comparar el promedio de kilómetros recorridos obtenidos en las siete iteraciones con los kilómetros que se recorren actualmente porque la empresa no posee registros sobre la operación actual de recolección.

5.2 Recomendaciones

Basados en el estudio de mercado exploratorio se sugiere al “OPL CLIENTE” que la furgoneta KIA-PREGIO con una capacidad de 16 pasajeros, es el

vehículo más adecuado para realizar la transportación del personal, considerando las opciones del mercado que fueron analizadas en este proyecto. Además, debe trabajar con 2 furgonetas de la marca y modelos mencionadas para satisfacer los requerimientos proyectados posteriores a la ampliación de la bodega.

MARCA	KIA
MODELO	PREGIO
CAPACIDAD(PASAJEROS)	17
CALIFICACION	8.9

Tabla 5-3. Resultado de análisis de selección de flota.

El costo mensual de servicio de transporte por cada furgoneta está dado por una función lineal que depende de los kilómetros recorridos en un mes, más un costo fijo que considera una remuneración básica de un chofer, véase Tabla 5-4. Para cumplir con las normas legales de trabajo, las mismas que contemplan la obligatoriedad de tener dos días de descanso a la semana se recomienda contratar dos choferes por jornadas parciales [17] para cada furgoneta. Y distribuir sus horarios de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Función de costos
$Valor\ del\ servicio(X) = 1.15 * (1,317.84 + 0.12(X))$

Tabla 5-4. Función del modelo tarifario para definir el valor del servicio.

Para aplicar el modelo de costos el "OPL CLIENTE" debe establecer las distintas rutas que se realizarán en la madrugada durante un mes determinado. En base a estos resultados deberá calcular los kilómetros

recorridos únicamente para la recolección del personal que labora en la madrugada. Para los recorridos variables que se realicen durante el día se recomienda la utilización de un GPS para definir el kilometraje. Para calcular el costo del servicio de transportación mensual por furgoneta, se deben sumar los kilómetros recorridos en la madrugada y los kilómetros recorridos durante el día, para cada furgoneta.

En el caso que los parámetros que afectan al modelo de costos sufran cambios en su valor, estos deberán ser actualizados en la hoja de cálculo con el objetivo de obtener una función de costos actualizada a su entorno. Es decir si el precio de la gasolina sube, el componente variable del modelo de costos también será afectado dando como resultado una nueva función de costos.

Una vez calculadas las rutas optimizadas, el “OPL CLIENTE” deberá entregar el esquema gráfico de estas rutas junto a la secuencia de recolección al “OPL EXPRESO”, el mismo que deberá seguir la secuencia rigurosamente para obtener las mejoras esperadas.

Dado que las distancias fueron obtenidas a través de Google Earth es recomendable realizar una inspección de una muestra de estas distancias,

utilizando un GPS para hallar un factor de calibración que ayude a precisar el cálculo de distancias recorridas.

Se recomienda la adquisición del software Mathematica 8.0 cuyo valor es \$2,495.00, para realizar el proceso de ruteo lo cual permite a la empresa conocer los kilómetros de una ruta optimizada y poder negociar con el OPL, además con el ahorro aproximado de \$140.9 mensuales se puede financiar la licencia del software en un plazo de diecisiete meses.

Para obtener como mínimo los resultados que se muestran en este proyecto debe utilizar un ordenador con características similares o superiores a las que posee el ordenador que se utilizó para realizar las iteraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (2005). Código de trabajo. Capítulo VI: De los salarios, de los sueldos, de las utilidades y de las bonificaciones y remuneraciones adicionales. Ecuador.
- [2] O. Castillo Asencio, L. A. Raña González. (2007). La postventa como criterio de selección de vehículos destinados a flotas de transporte. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cuba.
- [3] Malhotra, Naresh K. (2004). Investigación de mercados. 4ª edición. Prentice Hall. Pág. 7, Pág. 75, Pág. 76. México.
- [4] Ballou, Ronald H. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. 5ta edición. PEARSON EDUCATION. ISBN: 970-26-0540-7. México.
- [5] Moscoso Z., Xavier. (2007). Diseño e implementación de un modelo tarifario para la transportación terrestre. ESPOL. Guayaquil.
- [6] Cantillo M., Víctor. (1999). Modelo para el cálculo de la tarifa en equipos de transporte. Universidad del Norte. Pág. 37-39. Colombia.
- [7] Gitman, Lawrence J. (2007). Principios de administración financiera. Pearson Educación. Pág. 137, Pág. 141, Pág. 145, Pág. 149. México.
- [8] Velázquez D, Erika. (2005). Aplicación del Vehicle Routing Problem (VRP) a un problema de distribución. México.
- [9] Delgado, Erwin. (2010). Presentación de modelos avanzados en transporte, problema del ruteo vehicular. Pág. 15-18. ESPOL. Guayaquil.

- [10] Merelo, J. J. (01 de julio de 2000). Geneura. Consultado el 15 de diciembre del 2011. Técnicas heurísticas de resolución de problemas: computación evolutiva y redes neuronales. De Geneura: www.Geneura.com.
- [11] Dowsland, Kathryn A., Díaz, Belarmino A. (2003). Diseño de heurística y fundamentos del recocido simulado. Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. Pág. 6. España.
- [12] (01 de enero de 2012). Banco Central del Ecuador. Consultado el 5 de enero de 2012. De Banco Central del Ecuador: <http://www.bce.fin.ec>
- [13] Vega, Víctor. (2009). Transporte primario. Logística II. ESPOL. Guayaquil.
- [14] López Gómez Jorge Arturo. (2007). El Universal. Diesel, ¿La mejor opción? México.
- [15] (09 de junio de 2009). Blogs de la gente. Consultado el 15 de diciembre de 2011. Consumo ciudad y ruta Sandero Stepway. De Blogs de la gente: <http://blogsdelagente.com>
- [16] Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. New York.
- [17] (2007). Contratación por jornada parcial. Mandato constituyente No.8. Art. 2. Ecuador.