



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE
SECUNDARIO, PARA UNA EMPRESA DE COMIDA JAPONESA.



AUTOR

MARGARETH NICOLE HAAS BARROS

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE
SECUNDARIO, PARA UNA EMPRESA DE COMIDA JAPONESA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Producción Industrial.

Profesor guía

Mtr. C. Roque Alejandro Morán Gortaire

Autor

Margareth Nicole Haas Barros

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Roque Alejandro Morán Gortaire

Máster en Ciencias

CC: 1704903317

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Daniel Augusto Burbano Flores
Máster en Administración de Negocios
CC: 1713696472

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Margareth Nicole Haas Barros

CC: 0850047663

AGRADECIMIENTOS

A Roque Morán, por su guía y apoyo durante la elaboración de este proyecto de titulación. Y a su modo de enseñanza que fue esencial para que mi proceso estudiantil fuera ameno y enriquecedor.

DEDICATORIA

A mis padres, Iska y Fernando, por haberme criado y convertido en quien soy hoy en día. Soy el resultado de su esfuerzo por tratar de proveerme siempre lo mejor.

RESUMEN

El impacto del costo de transporte, puede llegar a representar el 20% del costo total del bien o servicio que entregue la empresa, y es poco común que una pequeña y mediana empresa tenga noción de la magnitud del costo. Por esto, se presentó la idea de optimizar las rutas de despacho, en una empresa con un centro de distribución, mediante el aporte de la investigación operativa y su premisa del uso de métodos matemáticos para la resolución de problemas.

El capítulo 1, contiene el sustento teórico para dar solución al problema; el capítulo 2, presenta a la empresa y el estado actual en el cual se maneja la distribución hacia los puntos de venta; el capítulo 3, expone la información que requiere el *software* de ruteo, para entregar las soluciones.

Para iniciar, se pronosticó la demanda de los puntos de venta y se verificó la validez del método de pronóstico midiendo su error; se calcularon los costos asociados al proceso de transporte. Seguidamente, fueron especificadas las restricciones para el tipo de problema de transporte, VRP, en cuanto a ventanas de tiempo y capacidad de vehículos. Determinados los algoritmos de resolución matemáticos, se indagó el software que contara con los mismos, y se obtuvo las rutas de ambos algoritmos.

Ambos algoritmos matemáticos, proporcionaron mejoras circunstanciales, no obstante, uno de los analizados presentó el porcentaje más alto de reducción en los costos anuales de transporte, la distancia recorrida por vehículo y el costo por kilómetro. Además de reducir los indicadores, junto con esta solución, se presenta la opción de recibir réditos económicos adicionales a la empresa.

ABSTRACT

The impact of transport can represent 20% of the total cost of the good or service, provide by the company, and it is not common for a small and medium enterprises to know the magnitude of the cost. Therefore, the idea of optimizing dispatch routes in a company with a center distribution was presented, through the contribution of operational research and its premise of the use of mathematical methods for solving problems.

Chapter 1 contains the theoretical basis for solving the problem; chapter 2 describes the company and the current state of the distribution to the point of sales; chapter 3, outlines the information required by the routing software to give the solutions.

To start, the demand for the points of sale was forecast and the validity of the forecasting method was verified by measuring its error; the costs associated to the transportation process were calculated. Then, restrictions were specified for the type of transport problem, VRP, in terms of time windows and vehicle capacity. After determining the mathematical resolution algorithms, the software which count with them was founded, and the software gave the routes.

Both mathematical algorithms, provided circumstantial improvements, however, one of those analyzed had the highest percentage reduction in the anual transport costs, the distance traveled by the vehicle and the cost per kilometer. In addition to reducing the indicators, with this solution, the option of receiving additional economic returns to the company is presented.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Investigación operativa.....	4
1.2 Etapas del estudio de IO	4
1.2.1 Identificación del problema	4
1.2.2 Especificación matemática y formulación	5
1.2.3 Resolución	6
1.2.4 Verificación, validación y refinamiento.....	7
1.2.5 Interpretación y análisis de los resultados	7
1.3 Pronóstico	7
1.3.1 Componentes de una serie de tiempo	8
1.3.2 Métodos de pronóstico	9
1.3.3 Errores de pronóstico	10
1.4 Optimización de rutas de transporte.....	10
1.4.1 Modelos matemáticos de optimización	10
1.5 Software de simulación	13
1.5.1 LOGVRP.....	13
2. CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
2.1 Aspectos generales de la empresa	16
2.2 Estado actual de la empresa	16
2.2.1 Locales	17
2.2.2 Demanda de locales.....	18
2.2.3 Ventanas de tiempo.....	19
2.2.4 Capacidad de vehículos	20
2.2.5 Costos de transporte actuales	20
2.2.6 Rutas de distribución	23
2.2.7 Indicador.....	29
2.3 Definición del problema	29

3. CAPÍTULO III SOLUCIÓN PROPUESTA	31
3.1 Estaciones	31
3.2 Órdenes	32
3.3 Flete	33
3.4 Computación	35
3.5 Solución con ALNS	37
3.5.1 Costos de solución con ALNS	40
3.6 Solución con JDAM	42
3.6.1 Costos de solución con JDAM	45
3.7 Resumen comparativo	46
3.8 Propuesta final de optimización.....	48
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
4.1 Conclusiones	49
4.2 Recomendaciones.....	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	53

INTRODUCCIÓN

i. Antecedentes

La investigación operativa es la base para dar solución a problemas, mediante el empleo de métodos matemáticos. El proceso inicia por la observación del sistema de trabajo de la empresa, recolección de información y la definición del problema. Luego se procede a construir el modelo científico, que debe representar lo más posible todas las circunstancias en torno al problema. Es esencial representar con mucha precisión la situación real, dado que la siguiente etapa entregará las soluciones para el modelo recreado, de modo que, las soluciones sean efectivas para el sistema real.

ii. Alcance

La corporación posee 21 restaurantes a nivel nacional, para este proyecto se ha decidido tomar en cuenta los locales de comida presentes en Quito, siendo estos 17. El planteamiento del problema pretende atacar al proceso de distribución de los pedidos a ser entregados en Quito y los valles de Cumbayá y los Chillos. Desde el análisis del problema hasta la formulación de un modelo logístico que será comparado con el sistema actual utilizado para el ruteo para proceder a seleccionar el que represente una mejor relación costo-beneficio.

iii. Justificación

Esta corporación, considera como aspecto fundamental el desarrollo de proyectos de responsabilidad social. Dado esto se creó el departamento de gestión de responsabilidad empresarial, siendo aquí donde se forman procesos con orientación social, y encaminados a la protección del medio ambiente.

Conociendo este antecedente se puede realzar la importancia de este proyecto sabiendo que unos de los puntos a ser resueltos y tomados en cuenta será la disminución de la distancia usada para el despacho hasta los locales. Reduciendo distancias se reduce también la cantidad de gasolina y evidentemente las emisiones enviadas al ambiente.

La corporación actualmente cuenta con más de 800 colaboradores y 21 restaurantes a nivel nacional y va en constante crecimiento teniendo en marcha varios proyectos para productos y aperturas de locales. El crecimiento hace que poco a poco lo que antes se hacía con facilidad por ejemplo determinar las rutas de distribución, ahora se vuelva un proceso más complejo; volviendo importante tener un proceso de planificación más prolijo.

Cumplir con los tiempos acordados de entrega y además alcanzar un tiempo de entrega menor agregará a la empresa mayor competitividad ante sus oponentes en el mercado y será una evidencia de su capacidad de planificación y respuesta ante sus clientes.

En América latina y el Caribe, los costos logísticos oscilan entre el 18% y el 35% del valor del producto (e incluso más en el caso de las pequeñas y medianas empresas PyMES de cerca del 45%) comparado con aproximadamente el 8% del valor del producto en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (Guasch, 2011, p. 2)

Mi formación como ingeniera en producción industrial habiendo cursado las materias de investigación operativa y cadena de abastecimiento me convierte en alguien capaz para dar solución a este problema.

iv. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de optimización de rutas de distribución secundarias mediante el modelado matemático del problema.

v. Objetivos específicos

- Realizar un estudio al método empleado actualmente para la planificación de rutas de distribución.
- Analizar los indicadores de desempeño para el proceso de distribución.
- Comparar varias opciones de modelado matemático.
- Evaluar económicamente las opciones de modelos planteados en el proyecto.
- Proponer las rutas de distribución más viables.

1. CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Investigación operativa

La investigación de operaciones (IO), consiste en el estudio de las actividades realizadas por una organización con el objetivo de encontrar la manera más adecuada de utilizar los recursos para llevar a cabo dichas actividades. Lo que caracteriza esencialmente a la IO es la resolución de los problemas a base de modelos científicos. La IO tuvo un rápido crecimiento con la introducción de las computadoras, convirtiéndose en la herramienta crucial que hacía posible la solución de grandes problemas en el mundo empresarial. (Ravi Ravindran, 2008, p. xxi)

La aplicación de la IO no está destinada a un área en específico, algunos ejemplos de las áreas en que ha sido empleada son manufactura, transporte, construcción, telecomunicaciones, planeación financiera, cuidado de salud, fuerzas armadas y servicios públicos. (Hillier y Lieberman, 2010, p. 2)

Para exponer algunos casos y temas en los que ha sido utilizada la IO se presenta el anexo 1, en donde se describe el nombre de la organización, aplicación, y los ahorros anuales en dólares conseguidos.

1.2 Etapas del estudio de IO

1.2.1 Identificación del problema

La primera etapa consiste en la recolección de la información concerniente al problema y todos los aspectos relevantes que estén inmersos en él. Se debe determinar los objetivos adecuados, las restricciones del sistema, las interrelaciones del área a estudiar con otras áreas de la organización, los

diferentes modos de acción posibles, el límite de tiempo de respuesta requerido y demás aspectos relevantes.

Esta etapa es el inicio de todo proyecto de mejora y al igual que la segunda etapa son los que conllevan más dificultad, esto debido a que no hay una fórmula ni regla para determinar a ciencia cierta cuál es el problema. La recolección de información para identificar el problema toma tiempo ya sea porque hay demasiado volumen de datos que se procedería a filtrar o porque la información no ha sido guardada y se procede a recabar esa información en tiempo real.

1.2.2 Especificación matemática y formulación

Luego de haber definido el problema, la segunda etapa radica en describir de manera matemática el problema. A esta etapa también se llama construcción del modelo matemático, modelo que formado por un sistema de ecuaciones y expresiones matemáticas representarán la esencia del problema para su análisis. (Hillier y Lieberman, 2010, p. 9) Al describir matemáticamente el problema se definen sus variables de decisión, función objetivo, restricciones y parámetros del modelo.

i. Variables de decisión

Decisiones que pueden afectar el valor de la función objetivo. Sean n decisiones a cuantificarse y que mantengan relación entre sí serán representadas como variables de decisión (x_1, x_2, \dots, x_n) .

ii. Función objetivo

Medida cuantitativa que evidencia el funcionamiento del sistema que se desea optimizar, es decir que la medida de desempeño se expresará como una

función matemática de las variables de decisión antes mencionadas ($\text{Max}(z) = 2x_1, 4x_2, \dots, 10x_n$). (Hillier y Lieberman, 2010, p. 10)

De acuerdo al tipo de problema se decide si se maximiza o minimiza la función objetivo. Por ejemplo, si los valores dispuestos para cada variable de decisión corresponden a la ganancia la función objetivo será de maximización; y por el contrario de minimización si los valores de las variables corresponden a costos.

iii. Restricciones

Conjunto de relaciones enunciadas mediante ecuaciones e inecuaciones que algunas de las variables deben satisfacer. Como variables a satisfacer se debe entender a las limitaciones que se impongan sobre los valores de las variables de decisión.

1.2.3 Resolución

Etapa para implantar el algoritmo que dará la solución numérica óptima para el problema o la más cercana a lo óptimo. Es en esta etapa donde se obtendrán las soluciones posibles a partir del modelo empleado para la resolución del problema.

Se pueden obtener 2 tipos de soluciones por medio de los algoritmos: factible y óptima. Una solución será factible si cumple con todas las restricciones; será óptima si, además de satisfacer las restricciones provee el mejor valor para la función objetivo. (Taha, 2012, p. 3)

En un aspecto más general existen tipos de algoritmos exactos, heurísticos, metaheurísticos e híbridos, dependiendo del tipo de solución que se desee obtener. (Albornoz y Johns, 2011, p. 462) Aprovechando el uso de métodos

heurísticos se tiene un grado de confianza alto en que se obtendrán soluciones de buena calidad y en tiempo razonable, pero no se garantiza la solución óptima. (Arias-Osorio, Bohórquez y Díaz, 2012, p. 2206)

1.2.4 Verificación, validación y refinamiento

Confirmar el cumplimiento de las restricciones mediante su escritura en un lenguaje informático. Se debe comprobar que el modelo de resolución, entrega una solución acorde al sistema que se estudia; luego del análisis se procede a mejorar el modelo para que los resultados sean aceptables. De manera que las soluciones sean válidas.

1.2.5 Interpretación y análisis de los resultados

Las soluciones presentadas por el modelo, son la base para una decisión final que será tomada por el equipo a cargo del problema. El equipo analizará las acciones a tomar en base a los resultados.

1.3 Pronóstico

El pronóstico es el instrumento que provee una aproximación cuantitativa de la probabilidad de hechos futuros. (Contreras et al., 2016, p. 1) La planeación de una organización implica pronosticar o elaborar predicciones de lo que pasará en un futuro (por ejemplo ventas, demanda, costos, etc). Una buena predicción evitará las desviaciones innecesarias en los niveles de producción, compras, inventario, esfuerzos en publicidad, y demás.

La variable a pronosticar dependerá del objetivo de la organización. Para empezar un análisis, se parte de los datos históricos de la variable a proyectar, de manera que se pueda identificar un patrón de acuerdo al tiempo. Estos

datos históricos forman una serie de tiempo. Se llama serie de tiempo, al conjunto de valores ordenados que toma una variable, y se asocian a puntos sucesivos en el tiempo a lo largo de periodos continuos. (Nava, 2013, p. 44)

1.3.1 Componentes de una serie de tiempo

En una serie de tiempo se pueden identificar cuatro características o componentes fundamentales.

1.3.1.1 Tendencia

Las series de tiempo muestran cambios o movimientos progresivos hacia valores mayores o menores en un periodo prolongado. A ese cambio escalonado se conoce como tendencia.

1.3.1.2 Estacionalidad

Variabilidad existente en una serie de tiempo que está influenciada por estaciones. Se puede referir a esta como la periodicidad en una serie de tiempo. (Soret y Giménez, 2013, pag 27)

1.3.1.3 Ciclo

Componente que se presenta a largo plazo. Esta forma cíclica o de onda corresponde a una función sinusoidal. (Soret y Giménez, 2013, pag 27)

1.3.1.4 Aleatoria

Conjunto de observaciones que no representan un patrón estacional, de tendencia o cíclico. No se refleja un patrón aparente a lo largo de toda la serie de tiempo. Para este tipo de casos lo adecuado es encontrar y eliminar las causas de este componente antes de proceder a pronosticar. (Soret y Giménez, 2013, pag 27)

1.3.2 Métodos de pronóstico

1.3.2.1 Cualitativos

Los procedimientos cualitativos para pronóstico de demanda se aplican cuando la información sobre la variable a pronosticar no es cuantificable. Para muchos casos se podrá disponer de datos históricos pero estos no serán suficientes cuando las series de tiempo estén afectadas por condiciones del entorno que no harán validos los pronósticos cuantitativos.

1.3.2.2 Cuantitativos

Los métodos cuantitativos se emplean cuando se posee un histórico de datos de la variable a pronosticar, la información es cuantificable y se supone que se repetirá en el futuro el patrón presente en la serie de tiempo de los históricos.

1.3.2.2.1 Método de serie de tiempo

Este método parte de encontrar un patrón presente en la serie de tiempo y extrapolarlo al futuro. En estos se supone que el tiempo es una buena variable que sintetiza el modo de actuar del mercado. (Anderson et al., 2011, p. 182)

Suavizado exponencial simple

Este método da más importancia a los valores recientes que a los pasados, porque los valores recientes reflejan mejor que las pasadas el desempeño en la variable a analizar. (Soret y Giménez, 2013, pag. 63)

La fórmula para el suavizado exponencial simple se presenta a continuación:

$$F_t = \alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

F_t , pronóstico calculado para el periodo t.

F_{t-1} , pronóstico calculado para el periodo t – 1.

Y_{t-1} , valor real del periodo $t - 1$.

t , periodo de tiempo.

α , factor de suavización comprendido entre 0 y 1

1.3.3 Errores de pronóstico

Con propósito de evaluar el desempeño de los métodos de pronósticos, existen indicadores que determinarán su precisión y confiabilidad. (Lahmiri y Boukadoum, 2015, p. 12)

1.3.3.1 MAD (*Mean Absolute Deviation*)

DAM (Desviación Absoluta Media), es el promedio de los valores absolutos de todos los errores del pronóstico.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

n , número de pronósticos calculados.

$|e_t|$, valor absoluto del error en el periodo t .

1.4 Optimización de rutas de transporte

La optimización radica en seleccionar la mejor alternativa, en algún sentido, que el resto de posibles alternativas. (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín y Linares, 2010, p. 5) Es así que al resolver un problema de optimización se buscan los valores que deben tomar las variables haciendo óptima a la función objetivo y satisfaciendo todas las restricciones.

1.4.1 Modelos matemáticos de optimización

Un modelo matemático es la representación de una realidad compleja mediante el uso de las matemáticas. (Ramos et. al, 2010, p. 11)

1.4.1.1 Problemas de rutas de vehículos

VRP (*Vehicle Routing Problem*), es uno de los problemas de optimización más estudiados y se encarga del diseño óptimo de las rutas a ser usadas por una flota de vehículos para distribuir a un conjunto de clientes. (Golden, Raghavan y Edward, 2008, p. 3)

La solución para VRP requiere que se determine un conjunto de rutas para los vehículos al menor costo, tales que: un vehículo visite una vez a cada cliente, todas las rutas se inicien y terminen en un punto, y que se consideren las restricciones. Las restricciones que se pueden tomar en cuenta para este tipo de problema son: capacidad de los vehículos, tiempo de duración para recorrer las rutas, ventana de tiempo (cuando el cliente i puede ser visitado en un determinado intervalo de tiempo), etc. (Hanne y Dornbenger, 2016, p. 57)

VRPTW (*vehicle routing problema with time windows*), es una extensión del VRP que añade como restricción las ventanas horarias en las que los puntos podrán ser visitados. La formulación matemática para este modelo se presenta a continuación:

Donde:

m = número de vehículos,

n = número de clientes,

Q_k = capacidad del vehículo k ,

q_i = demanda del cliente i ,

c_{ij} = costo del viaje desde cliente i al j ,

t_{ij} = tiempo de viaje desde cliente i al j ,

s_i = tiempo de servicio hasta cliente i ,

e_i = hora más temprana permitida para entregar al cliente i ,

u_i = última hora permitida para empezar la entrega al cliente i ,

$$N = \{1, \dots, n\},$$

$$N_0 = N \cup \{0\}, y$$

$$M = \{1, \dots, m\},$$

Variables

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ viaja directamente desde el cliente } i \text{ al cliente } j \\ 0, & \text{diferente} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente } i \text{ es visitado por el vehículo } k \\ 0, & \text{diferente} \end{cases}$$

t_i = el tiempo para empezar a despachar al cliente i

t_{0ek} = hora de salida del vehículo k del depot

y_{ik} = hora de llegada del vehículo k al depot

Modelo

$$\text{Min} = \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} \sum_{k \in M} c_{ij} x_{ijk} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in N} x_{irk} - \sum_{j \in N} x_{rjk} = 0 \quad \forall r \in N, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0k} = \sum_{j \in N} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$t_i + s_i + t_{ij} - (1 - x_{ijk})T \leq t_j \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$t_{0ek} + t_{0j} - (1 - x_{0jk})T \leq t_j \quad \forall j \in N, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$t_i + s_i + t_{i0} - (1 - x_{i0k})T \leq t_{0ek} \quad \forall i \in N, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$e_i \leq t_i \leq u_i \quad \forall i \in N, \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$e_0 \leq t_{0ek} \quad \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$t_{0ek} \leq u_0 \quad \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} q_i x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$t_i \geq 0 \quad \forall i \in N_0, \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N_0, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\sum_{k \in M} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N_0, \forall k \in M, \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i \in N_0, \forall k \in M. \quad (\text{Ecuación 17})$$

La función objetivo (3) minimiza el costo total del viaje. Las restricciones (4) aseguran que si el vehículo k visita un punto, este lo abandona de nuevo. Restricciones (5) establece que cada ruta se origina y termina en el depot. Restricciones (6)-(8) aseguran tiempos de arribo compatibles. (9) restringe el tiempo de arribo a donde el cliente en sus ventanas de tiempo. (10)-(11) son restricciones de ventanas de tiempo en el depot para salida y arribo de los vehículos. Restricciones (12) aseguran que la demanda de cada ruta está dentro de los límites de capacidad del vehículo sirviendo esa ruta. (15) asegura que cada cliente es visitado exactamente una vez. (17) restringe una ruta para abandonar el lugar del cliente exactamente una vez.

1.5 Software de simulación

La resolución del problema puede ser muy extensa en el tiempo y compleja de realizar sin medios informáticos. Para esto se emplean software que poseen algoritmos capaces de resolver los diferentes problemas de investigación operativa. Existen en el mercado una variedad de opciones como C++, Fortran, Lingo, MatLab, etc.

1.5.1 LOGVRP

Logvrp es una aplicación web, a la que se puede acceder sin necesidad de una licencia, que planea las rutas de entrega, distribución y recolección. Este *software* ayuda a las organizaciones a sacar provecho de las operaciones logísticas minimizando los costos de transporte y los kilómetros empleados para la distribución mediante la fijación de rutas óptimas, planeación y gestión de las rutas de entrega o recolección. Una característica adicional de Logvrp es que puede ser integrada a otros sistemas informáticos tales como CRM, ERP, MRP, etc., de manera que el uso de este software no debe realizarse de manera aislada aportando más facilidades al operador de los sistemas, manteniendo la información disponible para toda la organización y en tiempo real.

Logvrp también entrega un detalle de las rutas con la siguiente información:

- La carga del vehículo antes de la visita a una estación de entrega y/o recogida
- La carga del vehículo después de visitar a una estación de entrega y/o recogida
- La cantidad a entregar y/o recoger en cada estación
- La llegada con fecha y hora del vehículo a una estación
- La salida con fecha y hora del vehículo desde una estación
- Duración de tiempo empleado en cada estación
- Porcentaje promedio de capacidad de carga
- Los pedidos procesados en cada paso de la ruta se muestran

Para la solución de los problemas Logvrp, emplea dos algoritmos que se explican a continuación.

1.5.1.1 Algoritmo de Jan Dethloff Modificado (JDAM)

Este algoritmo se basa en la versión de Jan Dethloff y ha sido modificada para poder dar solución a los problemas con vehículos, cargas y ventanas de tiempo diferentes. Es capaz de resolver problemas de ruteo de vehículos con entregas y recolecciones simultáneas (VRPSDP). (Logvrp, 2016).

Este algoritmo maneja las siguientes restricciones: vehículos diferentes, carga diferente y visitar solo una vez cada local.

1.5.1.2 Adaptive Large Scale Neighborhood Search (ALNS) - Modificado

Pisinger and Ropke (2005) dieron solución a cinco diferentes tipos de problemas de transporte: CVRP, OVRP, VRPTW, MDVRP y SDVRP. Para su

resolución emplearon una heurística denominada ALNS (*Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic*). (Pino et al., 2011, p. 850)

La heurística ALNS fue presentado por Pisinger y Ropke, para dar solución a variantes de problemas de ruteo de vehículos. En lugar de usar un gran conjunto de nodos, como se hacía anteriormente con LNS, se modificó el algoritmo LNS para que usando pequeños grupos, se aplique métodos de inserción y remoción. La solución es obtenida removiendo algunos de los nodos de la solución y reinsertándolos. Los operadores de extracción e inserción se seleccionan dinámicamente de acuerdo con su desempeño anterior. Con este fin, a cada operador se le asigna una puntuación que se incrementa cada vez que mejora la solución actual. La nueva solución se acepta si satisface algunos criterios definidos para el problema. (Demir, Bektaş y Laporte, 2012, p. 348).

El algoritmo puede ser empleado para dar solución a distintos tipos de problemas de transporte, como se enlista a continuación:

- VRP con entrega y recolección simultánea, (VRPSDP).
- VRP con ventanas de tiempo, (VRPTW).
- Problemas de ruteo de vehículos con capacidad, (CVRP).
- Problemas de ruteo de vehículos abierto, (OVRP)
- Problemas de ruteo de vehículos con múltiples depósitos, (MDVRP)

2. CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Aspectos generales de la empresa

La empresa nacional de comida japonesa, emprende en el año 2004 el manejo de restaurantes japoneses. En Ecuador es la quinta compañía de restaurantes y comida rápida de acuerdo al ranking empresarial de Ekos (2013), con una utilidad mayor a 1.2 millones anuales. Posee tres conceptos de negocio, entre estas: N, K y NBR. Cuenta con 21 restaurantes a nivel nacional, repartidos en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca.

2.2 Estado actual de la empresa

La planta es el lugar desde donde se despacha los insumos hacia los locales y también sirve como planta de procesamiento de algunos productos como salsas. La empresa maneja un sistema ERP (*Enterprise resource planning*), sistema que integra y coordina ciertas actividades de la compañía; de manera que se comparta información en tiempo real entre todas las áreas de la empresa y se mantenga una base de datos centralizada. (Monk, E., & Wagner, B., 2012, p. 1).

Por este medio, entre otras cosas, se reciben los pedidos de cada local y gracias a los registros que guarda el *software*, se puede extraer información; en el caso de este Proyecto de Titulación, se requirió de los pedidos de cada local para conocer la demanda. Para la distribución de sus productos, a los distintos locales utilizan dos vehículos propios de la empresa y tres vehículos contratados. Los choferes empiezan su jornada laboral a las 5:30 am y concluyen a las 2:00 pm. Algunos de los locales se encuentran en centros comerciales, dentro y fuera del distrito metropolitano de Quito.

Se realizan despachos diarios dependiendo del local. Entre los productos despachados se encuentran: los congelados, secos, de producción y vegetales. Para ser transportados, solo los congelados requieren vehículo con frigorífico. Los literales siguientes, presentan con más detalle los datos necesarios, para tener aun más claro el estado de la empresa. En el capítulo siguiente estos datos servirán de referencia para la solución.

2.2.1 Locales

A continuación en la Tabla 1, se presentan las coordenadas y se define también el código de cada local; con el código que ya ha sido designado por la empresa, se hará referencia a cada local de ahora en adelante en el texto. La planta desde donde se distribuye tomará el nombre de Planta UIO.

Tabla 1.
Lista de locales con coordenadas y código.

Código	Local	Coordenada
NK01-13	K San Luis	0°18'31.8"S 78°27'02.1"W
NK02	K Bosque	0°09'43.1"S 78°29'51.4"W
NK03	K Condado	0°06'13.5"S 78°29'28.1"W
NK04	K CCI	0°10'39.6"S 78°29'08.0"W
NK06	K San Francisco	0°11'57.2"S 78°26'14.2"W
NK07	K Aeropuerto	0°07'27.7"S 78°21'38.1"W
NK08	K Plaza Kendo	0°10'52.1"S 78°28'49.2"W
NK11	K AYCE	0°12'22.4"S 78°28'58.5"W
N001	N Cumbaya	0°12'03.1"S 78°25'47.2"W
N002	N Católica	0°11'20.1"S 78°29'14.0"W
N003	N Jardín	0°10'34.8"S 78°28'45.6"W
N005	N Quicentro	0°18'31.9"S 78°27'01.4"W
N012	N Plaza América	0°12'16.2"S 78°28'55.9"W
N014	N Escala	0°10'29.6"S 78°29'33.3"W
NB01	Nbr	0°10'57.1"S 78°28'36.7"W

Actualmente, la empresa tiene dos puntos de venta ubicados en el mismo centro comercial, NK01 y N013; sin embargo, para los despachos a estos puntos de venta se emplean rutas distintas. Para este proyecto, se optó por juntar los puntos de venta.

2.2.2 Demanda de locales

Con el objeto de elaborar una adecuada propuesta de solución con el *software* de ruteo, se pronosticará las órdenes a ser recibidas en un futuro. Contando con la información de cada local, se procede a identificar en la serie de tiempo, un patrón en la demanda de los locales; para ello se grafica en Excel los pedidos realizados durante un mes por cada local en función de la fecha.

Identificado el patrón de demanda por cada local se usará el método de pronóstico más adecuado; a partir de los errores se analizará cuán efectivo y confiable es el método de pronóstico. Se considera aceptable a los valores de MAD menores a 20. Para elegir el método de pronóstico, se comparó el error MAD de tres métodos diferentes; resultando como la mejor opción el Método de pronóstico de Suavización Exponencial Simple, que ya fue tratado en el capítulo anterior.

A continuación, en la Tabla 2 y Tabla 3, se presenta un resumen de los pronósticos de demanda, obtenidos con el método de suavizado exponencial simple, para cada local junto con el error MAD, las tablas completas y los gráficos correspondientes a cada local se encuentran en los anexos.

Tabla 2.
Pronóstico de demanda para productos congelados y secos.

Local	Tipo de producto	Pronóstico de demanda	MAD
NK01-13	Congelado y seco	295	15
NK02	Congelado y seco	262	15
NK03	Congelado y seco	263	16
NK04	Congelado y seco	205	15
NK06	Congelado y seco	182	16
NK07	Congelado y seco	169	11
NK08	Congelado y seco	228	16
NK11	Congelado y seco	117	16
N005	Congelado y seco	176	18

Tabla 3.
Pronóstico de demanda para productos secos

Local	Tipo de producto	Pronóstico de demanda	MAD
N001	Seco	108	17
N002	Seco	81	15
N003	Seco	227	18
N012	Seco	155	16
N014	Seco	154	19
NB01	Seco	72	18
N001	Congelado	134	20
N002	Congelado	116	15
N003	Congelado	78	19
N012	Congelado	100	13
N014	Congelado	77	19
NB01	Congelado	59	14

2.2.3 Ventanas de tiempo

Las ventanas horarias se presentan en la Tabla 4; en su mayoría, los locales al encontrarse en centros comerciales tienen una hora máxima para recibir sus pedidos que es hasta las 9:00 am y en caso de llegar pasada esa hora se multa a los locales; explicado esto, se ve la necesidad de aplicar una restricción de tiempo.

Tabla 4.
Ventana de tiempo por local

Local	Ventana de tiempo	
NK01-13	7:00 AM	10:00 AM
NK02	7:00 AM	8:45 AM
NK03	7:00 AM	8:40 AM
NK04	7:00 AM	9:00 AM
NK06	7:00 AM	9:00 AM
NK07	7:00 AM	7:15 AM
NK08	7:00 AM	8:50 AM
NK11	7:00 AM	9:00 AM
N001	7:00 AM	9:00 AM
N002	7:00 AM	9:30 AM
N003	7:00 AM	8:45 AM
N005	7:00 AM	9:00 AM
N012	7:00 AM	8:40 AM
N014	7:00 AM	8:45 AM
NB01	7:00 AM	10:30 AM

2.2.4 Capacidad de vehículos

El problema de este proyecto, maneja una flota de vehículos heterogénea, es decir, que los vehículos no poseen la misma capacidad. En la Tabla 5, se muestran las capacidades de los vehículos disponibles para la distribución. Representa una restricción, porque la planificación de las órdenes a ser despachadas, debe tomar en cuenta que la capacidad disponible no puede ser excedida.

Tabla 5.
Capacidad de vehículos

Placa	Capacidad (kg)	Tipo
PBL4241	1000	Congelado y seco
PBI 1358	1000	Congelado y seco
PBU 3099	1000	Congelado y seco
PBT 8793	6000	Congelado
PCD 1037	3000	Seco

2.2.5 Costos de transporte actuales

Los costos de transporte, para los vehículos propios de la empresa (PCD 1037 y PBL 4241) incluyen el costo de combustible, mantenimiento, costo de choferes, matrículas, revisiones anuales, neumáticos y seguros. La depreciación correspondiente a cada vehículo no se tomará en cuenta porque el tiempo de vida útil (5 años) de los vehículos ya transcurrió.

El costo del combustible asociado a cada vehículo se muestra en la Tabla 6. El costo comprende el consumo de combustible por los kilómetros recorridos, el vehículo PCD1037 usa gasolina diésel que tiene un precio de \$0,91 centavos por galón y el vehículo PBL4241 gasolina extra con un precio de \$1,30 centavos por galón.

Tabla 6.
Costo combustible

	Combustible			
	\$/gl	km	gl	\$/km
PCD 1037	\$ 0,91	1389	87,1	\$ 0,057
PBL 4241	\$ 1,30	3304	168,3	\$ 0,07

El costo de mantenimiento es igual para ambos vehículos dado que se realiza cada 5000 kilómetros, con un precio de \$250 dólares.

Tabla 7.
Costo mantenimiento

	Mantenimiento		
	Km	\$	(\$/km)
PCD 1037	5000	\$ 250,00	\$ 0,05
PBL 4241	5000	\$ 250,00	\$ 0,05

El costo de los conductores, que se presenta en la Tabla 8, muestra el salario mensual de los dos encargados de manejar los vehículos de la empresa; este valor se divide para el número de días laborables al mes de cada conductor y se obtiene el costo por día de los conductores. Más adelante, el costo por día se dividirá para el número de kilómetros recorridos diariamente por cada vehículo.

Tabla 8.
Costos conductores

	Conductores	
	Costo mensual	\$/día
1	\$ 420,00	\$ 21,00
2	\$ 420,00	\$ 21,00

La matrícula se hace cada año, pero tomando en cuenta que el vehículo PCD1037 transita solo seis días de la semana, se hizo el cálculo para 308 días

como se muestra en la Tabla 9. Para el vehículo PBL4241 que trabaja todos los días se hace el cálculo para un año normal.

Tabla 9.
Costo matrícula

	Matrícula		
	días	\$	(\$/día)
PCD 1037	308	\$ 315,83	\$ 1,03
PBL 4241	365	\$ 271,00	\$ 0,74

El dato de los días para la revisión vehicular es igual que para el cálculo de las matrículas.

Tabla 10.
Costo revisión vehicular

	Revisión vehicular		
	días	\$	(\$/día)
PCD 1037	308	\$ 45,13	\$ 0,15
PBL 4241	365	\$ 29,00	\$ 0,08

El cambio de neumáticos que se realiza en promedio cada 2 años está representado en la Tabla 11, cada 2 años se cambias los cuatro neumáticos de ambos vehículos siendo el precio por unidad de cada neumático \$145 dólares para el vehículo PCD1037 y de \$229 dólares para el vehículo PBL4241. Par el cálculo se toma en cuenta todos los kilómetros recorridos durante dos años por cada vehículo.

Tabla 11.
Costo de neumáticos

	Neumáticos				
	Cantidad	\$/unidad	\$	Km	\$/km
PCD 1037	4	\$ 145,60	\$ 582,40	34712	\$ 0,02
PBL 4241	4	\$ 229,60	\$ 918,40	86140	\$ 0,01

El precio de los seguros que se muestra en la Tabla 12, es la tarifa mensual correspondiente a cada vehículo, el seguro cubre al vehículo todos los días pero para el vehículo PCD1037 se toma en cuenta solo los días que trabaja.

Tabla 12.
Costo de seguros

	Seguros		
	días	\$/mes	(\$/día)
PCD 1037	26	\$ 88,67	\$ 3,41
PBL 4241	30	\$ 74,67	\$ 2,49

El costo total por kilómetro, resulta en \$0,64 centavos para el vehículo PCD1037 y \$0,33 centavos para el vehículo PBL4241, significando \$9.760,99 y \$14.338,27 dólares anuales, respectivamente; la tabla de resumen se encuentra en los anexos.

La empresa proveedora del servicio de transporte, maneja tarifas diarias ya establecidas para cada vehículo, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.
Costo de vehículos contratados

	Tarifa diaria (\$)	km	\$/km
PBI 1358	\$ 45,00	43	\$ 1,05
PBU 3099	\$ 45,00	10	\$ 4,37
PBT 8793	\$ 85,00	50	\$ 1,71

2.2.6 Rutas de distribución

Actualmente, la empresa maneja sus despachos de acuerdo al tipo de local; los locales con código NK son despachados todos los días debido a que los locales en su mayoría se encuentran en centros comerciales y no poseen mucho espacio para almacenar insumos; en las Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se presentan las rutas diarias a estos locales.

Tabla 14.

Ruta 1

Vehículo: PBL4241							
Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	Planta UIO						
Local	NK07						
	NK06						
	NK01						

El vehículo PBL4241 opera todos los días desde el lunes hasta el domingo, distribuyendo a los locales NK01, NK06, NK07 desde la planta.

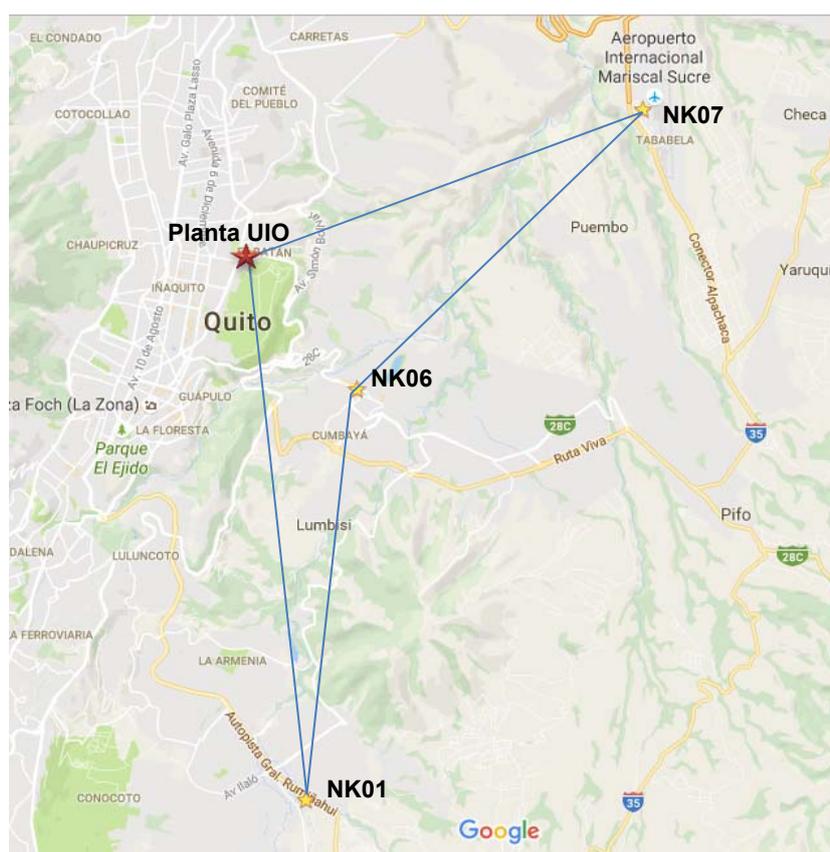


Figura 1. Ruta del vehículo PBL4241
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Tabla 15.

Ruta 2

Vehículo: PBI 1358							
Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	Planta UIO						
Local	NK03						
	NK02						
	NK11						

El vehículo PBI 1358 opera los días lunes, jueves, viernes, sábados y domingos con la ruta que se presenta en la figura 8, distribuyendo a los locales NK02, NK03 y NK11 desde la planta.

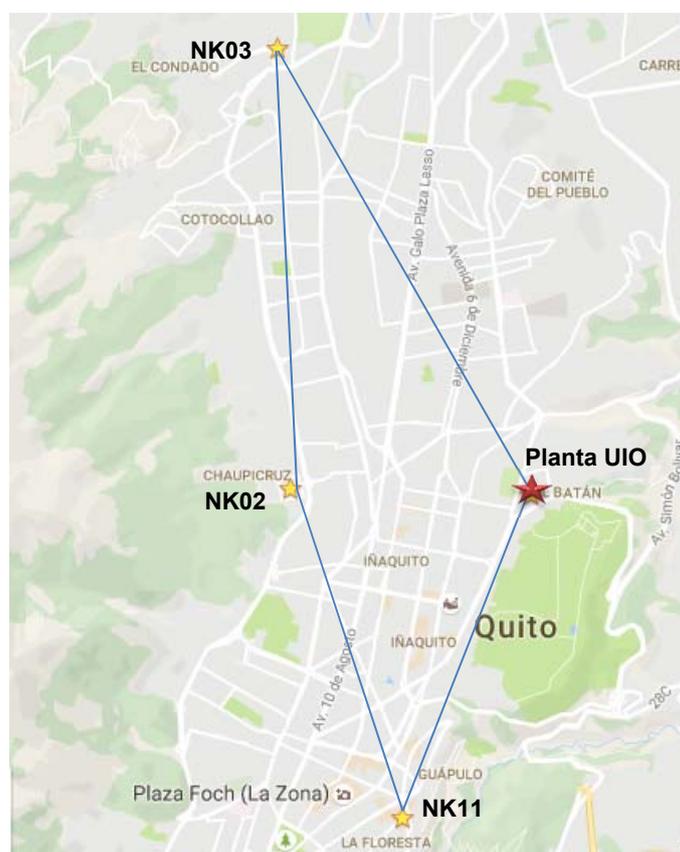


Figura 2. Ruta del vehículo PBI 1358
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Hay excepciones como se muestra en la Tabla 16, en que un local con código N está en la misma ruta que los locales con código NK. La empresa lo hace así porque es un punto de venta sin mucha disponibilidad de almacenaje.

Tabla 16.
Ruta 3

Vehículo: PBU 3099							
Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	Planta UIO						
Local	N05						
	NK04						
	NK08						

El vehículo PBU 3099 opera de lunes a domingo con la ruta que se presenta en la figura 9, distribuyendo a los locales N05, NK04 y NK08 desde la planta.

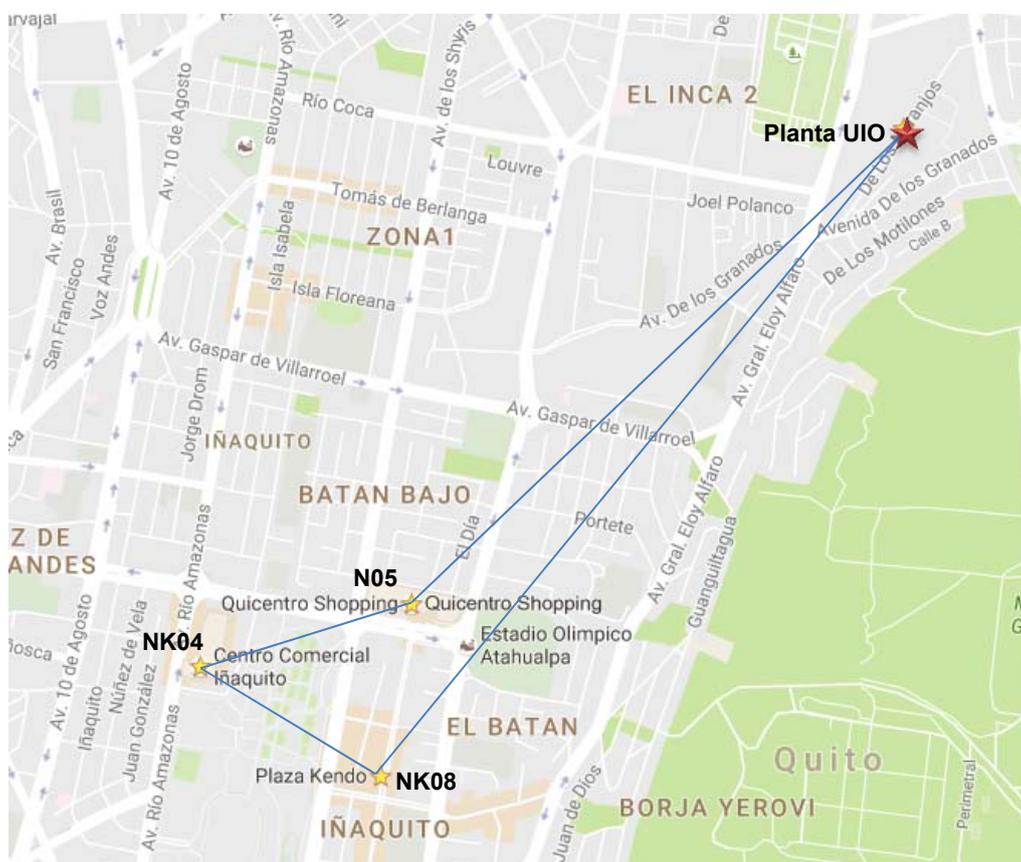


Figura 3. Ruta del vehículo PBU 3099
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Los locales con código N y NB son despachados pasando un día, en las tablas 6 y 7 se presentan las rutas.

Tabla 17.
Rutas 4 y 5 - congelados

Vehículo: **PBT 8793**

Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	Planta UIO	Planta UIO	Planta UIO	Planta UIO	Planta UIO	Planta UIO	-
Local	N003	N014	N003	N014	N003	N014	-
	N012	N001	N012	N001	N012	N001	-
	N002	N013	N002	N013	N002	N013	-
	NB01	-	NB01	-	NB01	-	-

Nota: Los días lunes, miércoles y viernes es la ruta 4; los días martes, jueves y sábado ruta 5.

El vehículo PBT 8793 opera los días lunes, miércoles y viernes a los locales N002, N003, N012, NB01 desde la planta.

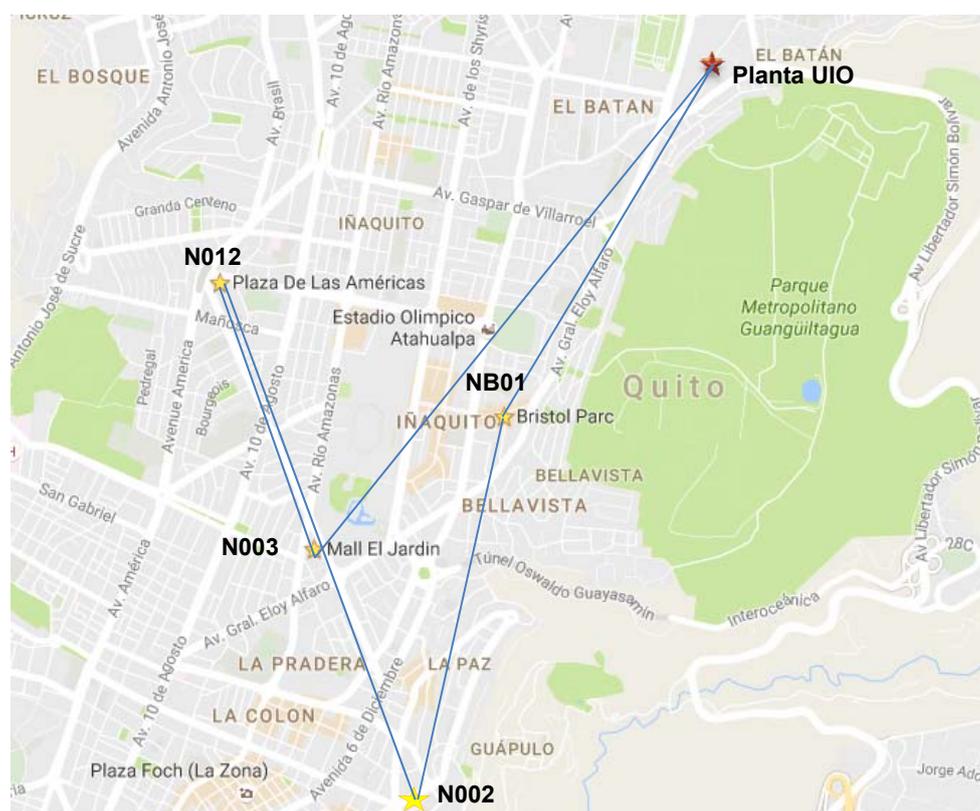


Figura 4. Ruta del vehículo PBT 8793
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Además el vehículo PBT 8793 opera los días martes, jueves y sábado a los locales N001, N013 y N014.

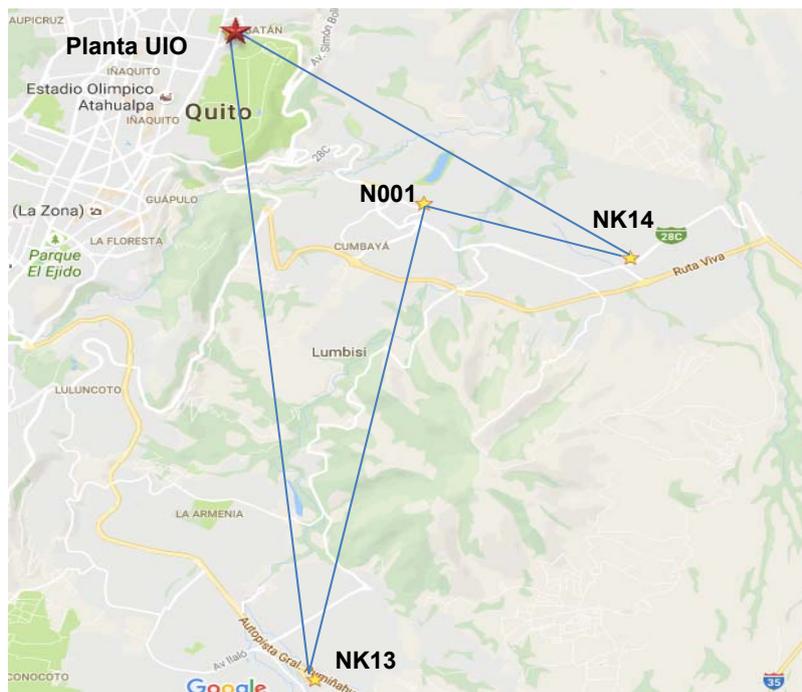


Figura 5. Ruta del vehículo PBT 8793
Adaptado de (googlemaps, 2016)

El vehículo PCD 1037 tiene la misma ruta que el vehículo PBT 8793 pero el primero transporta los insumos secos y el segundo los congelados.

Tabla 18.

Rutas 4 y 5 - secos

Vehículo: PCD 1037

Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	Planta UIO	-					
Local	N003	N014	N003	N014	N003	N014	-
	N012	N001	N012	N001	N012	N001	-
	N002	N013	N002	N013	N002	N013	-
	NB01	-	NB01	-	NB01	-	-

Nota: La misma ruta de Tabla 17 se usa para distribuir los insumos secos.

2.2.7 Indicador

A fin de poder comparar la situación actual con la solución a proponer, se establecerán algunos indicadores, los cuales representarán el desempeño actual de la empresa y luego con la propuesta de mejora se verificará que las acciones propuestas evidencien una mejora en base a estos indicadores.

Para este trabajo, se definió a los siguientes indicadores:

$$\rightarrow \text{Costo por km} = \sum \frac{\text{costo de transporte por día}}{\text{distancia diaria}}$$

$$\rightarrow \text{Costo anual de transporte} = \sum \text{costo por km} * \text{distancia diaria} * n$$

Donde:

n, es el número de días laborables de los vehículos.

$$\rightarrow \text{Distancia diaria} = \sum \text{km recorridos por vehículos}$$

2.3 Definición del problema

Para definir el problema, se emplea la metodología del árbol de definición de problema, en el cual se deben responder cinco preguntas; qué es un problema, por qué es un problema, dónde se encuentra el problema, cuándo se presenta el problema y cómo se presenta el problema cuantitativamente; conocida la respuesta se tiene lo necesario para definir adecuadamente un problema. Las preguntas y respuestas, para definir el problema del presente trabajo de titulación, se exponen en la Figura 6.

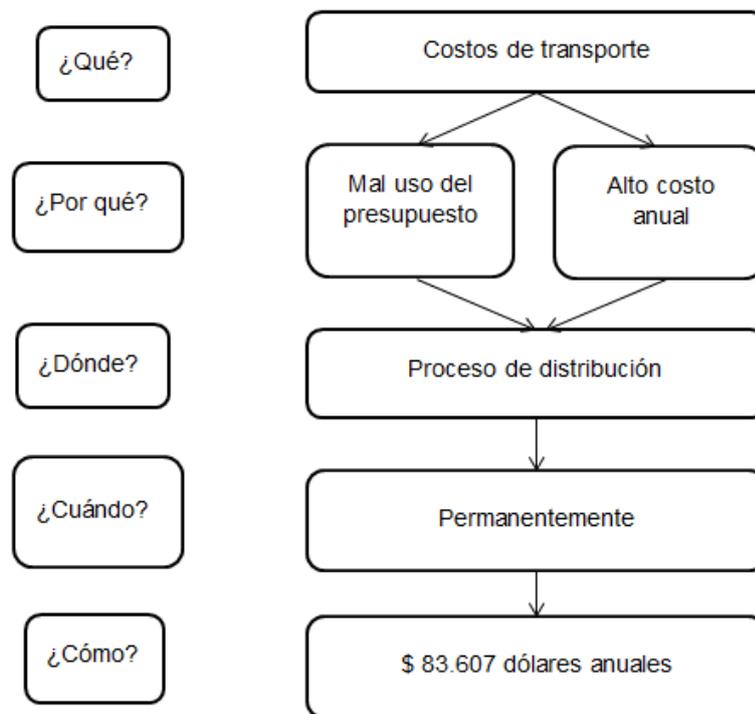


Figura 6. Árbol de definición del problema

Se define el problema de la siguiente manera: Permanentemente, se presenta un alto costo en el proceso de distribución, constituyendo \$83.129,26 dólares anuales; en torno a esto, se evidencia que el presupuesto puede ser aprovechado con más eficiencia y destinado para otros fines.

3. CAPÍTULO III SOLUCIÓN PROPUESTA

Definido el problema en el capítulo anterior, se analizó el caso y se decidió la manera más viable de dar solución al problema; para esto, lo primordial fue hallar los algoritmos matemáticos más apropiados, capaces de solucionar problemas de ruteo de vehículos. De no ser por el tipo de limitaciones que tiene el caso, como ventanas de tiempo y la capacidad de los distintos vehículos, se podría haber resuelto el problema manualmente y usando métodos más sencillos, alineados a otros tipos de problemas de transporte.

En busca de un modelo matemático que diera solución a este problema, se encontró dos algoritmos de resolución diferentes: Algoritmo de Jan Dethloff y *Adaptive Large Scale Neighborhood Search*. Estos algoritmos son capaces de modelar y dar solución a diferentes tipos de problemas de transporte, incluyendo VRPTW y CVRP. (Demir, Bektaş y Laporte, 2012 p. 348).

De manera complementaria a la solución y como resultado de investigar algunos *softwares* disponibles en el mercado, se comparó las herramientas de los sistemas, y se encontró que Logvrp posee los algoritmos mencionados anteriormente.

3.1 Estaciones

Para dar inicio al planteamiento de la solución de Ruteo óptimo, ambos algoritmos empleados, JDAM y ALNS, requieren conocer la ubicación geográfica de todos los Puntos de Entrega, para en base a esta información comenzar a determinar la distancia entre puntos y el tiempo de viaje. A su vez, el *software*, Logvrp, requiere la información referida a las estaciones, donde se incluye al Centro de Distribución (Planta UIO) y los locales, en donde se deben hacer las entregas. Para establecer las estaciones, el *software* permite cargar

una tabla en Excel, que contenga las coordenadas geográficas de cada estación, o bien ubicar en el mapa las direcciones.

Como se aprecia en la figura 1, luego de haber ubicado las estaciones en el mapa, se puede editar el nombre dado que por defecto logvrp define a las estaciones con el nombre *station*.

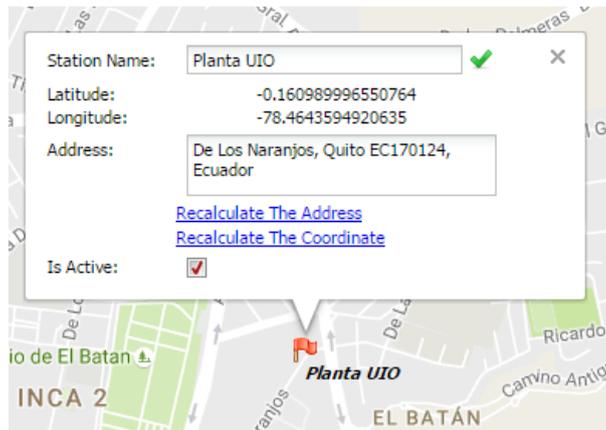


Figura 7. Editar detalles de estación.
Tomado de (Logvrp, s.f.)

3.2 Órdenes

Según los algoritmos de JDAM y ALNS, mencionados en el primer capítulo, como parte de las restricciones de este tipo de problema, con ventanas de tiempo, se debe conocer en qué rango de tiempo se pueden hacer entregas a los distintos locales. Además de las ventanas horarias, presentadas en el capítulo anterior, la demanda pronosticada para cada local, se utiliza en este punto.

La segunda pestaña de logvrp, es donde se especifican las órdenes por local en una misma unidad de medida. En la Figura 8 se muestran los datos a introducir en el software como son: el código de la orden, el punto de partida, el punto de entrega de las órdenes, el tiempo de carga en el punto de partida, el

tiempo de descarga en el punto de entrega y el rango de tiempo en que pueden ser entregadas las órdenes en el respectivo local.

The screenshot shows a window titled "Order Details" with the following fields and controls:

- Order Id:** A text input field containing "ORD-2" with a green checkmark icon to its right.
- Load Amount:** A dropdown menu showing "Piece" and "Parcel" with a downward arrow.
- Pick-up Location:** A dropdown menu with a downward arrow.
- Loading Duration (day:hour:minute):** A time input field showing "00 : 00 : 00".
- Earliest pick-up date-time:** A date-time input field with a dropdown arrow and a calendar icon.
- Latest pick-up date-time:** A date-time input field with a dropdown arrow and a calendar icon.
- Delivery Location:** A dropdown menu with a downward arrow.
- Unloading Duration (day:hour:minute):** A time input field showing "00 : 00 : 00".
- Earliest delivery date-time:** A date-time input field with a dropdown arrow and a calendar icon.
- Latest delivery date-time:** A date-time input field with a dropdown arrow and a calendar icon.
- Clear Time Windows:** A button located below the date-time fields.
- Add New Order:** A button with a plus icon located at the bottom center of the window.

Figura 8. Detalle de orden
Tomado de (Logvrp, s.f.)

Para este proyecto la unidad de carga se manejará en kilogramos, el punto de partida será el mismo para todas las órdenes que es la planta UIO. El tiempo de carga que se maneja en la planta es de 10 min y el de descarga 15 minutos en promedio.

3.3 Flete

Ambos algoritmos, de Jan Dethloff y Adaptive Large Scale Neighborhood Search, están diseñados para resolver problemas de vehículos con capacidad; esto hace referencia a que dentro del problema se plantea como una restricción a la capacidad de los vehículos a emplear.

Adicionalmente, se estableció que para este trabajo de titulación, la función objetivo, que es la medida de desempeño del sistema, tomará los valores de los costos de transporte y buscará reducirlos.

La tercera pestaña del *software logvrp* requiere la información de los vehículos; en esta parte, se define la capacidad de cada vehículo, el lugar de partida, lugar de parada, fecha para operar, hora de salida, velocidad promedio, costo por kilómetro y costo fijo. La Figura 9, presenta la ventana respectiva para insertar toda la información concerniente a cada vehículo.

Figura 9. Detalle de vehículo
Tomado de (Logvrp, s.f.)

Para este proyecto, el nombre de cada vehículo será el número de placa; el punto de partida y parada al que se refiere en esta parte es desde donde sale el vehículo al inicio de su recorrido, y donde llega al final del mismo. No debe confundirse entre los locales a los que se distribuye.

Los insumos son transportados en jabas, término que no está disponible en logvrp, por tanto se tomará la opción *parcel* para hacer alusión a los insumos que se transportarán en las camionetas con termocuplas (PBL 4241, PBI 1358 y PBU 3099), *frozen* para los insumos a transportar en el vehículo PBT 8793, y *fragile* para los insumos despachados en el vehículo PCD 1037.

Los vehículos empleados son de transporte de carga, para estos, el límite de máximo de velocidad en el sector urbano es de 40km/h y el rango moderado es de 40 a 50 km/h; en el sector perimetral es de 70km/h y el rango moderado es de 70 a 95km/h; rectas en carreteras es de 70km/h y el rango moderado es de

70 a 100km/h y curvas en carreteras es de 40km/h y el rango moderado es de 40 a 60km/h. (Agencia nacional de tránsito, 2016, pp. 44 y 45)

3.4 Computación

También se debe especificar el tipo de método para el cálculo de distancias en los que se registrarán los algoritmos de resolución. Existen varios métodos de cálculo, pero para este trabajo se hace referencia únicamente a dos, *road distance* y *crow fly*, que están disponibles en logvrp. El método para el cálculo de distancias en este proyecto será *road distance* (distancia de la trayectoria), dado que este toma en cuenta toda la distancia del recorrido a diferencia del otro método (*crow fly* o conocido en español como distancia euclidiana), que calcula la distancia entre dos puntos pero en línea recta. (Pole, 2011, p. 552)

La pestaña siguiente en el logvrp es Computación, que se subdivide en otras cuatro pestañas: la primera se muestra en la Figura 10, donde se define el tipo de moneda, unidad de distancia y metodología para calcular la distancia.



Figura 10. Pestaña de unidades
Tomado de (Logvrp, s.f.)

Entre las restricciones que se pueden agregar están el tiempo máximo de conducción sin paras, tiempo máximo de trabajo en un día, tiempo mínimo de pausas, número máximo de rutas, duración máxima de la ruta, número máximo de paradas por ruta, distancia máxima por ruta. Además permite que se escojan algunos aspectos, como si se requiere que las rutas evadan autopistas y peajes, o si las estaciones deben ser visitadas una sola ocasión. Figura 11.

Stations Orders Fleet **Computation** Results

Unit **Constraint** Time Optimization

Max Continuous Drive Time (h:m): 0 : 0

Max Work Time In A Day (h:m): 0 : 0

Min Pause Time (h:m): 0 : 0

Max Number Of Routes: 0

Max Route Duration (d:h:m): 0 : 0 : 0

Max Stops Per Route: 0

Max Distance Per Route (Km): 0

Serve same region with same vehicle:

Allow multiple depot visit with same vehicle:

Categorize Vehicles Delivery or Pick-up:

Avoid Highways:

Avoid Tolls:

Visit Stations Once:

Vehicle End of Day Location: None

Figura 11. Restricciones
Tomado de (Logvrp, s.f.)

Luego se pueden validar los días de la semana y el horario que se podrá tomar en cuenta para hacer los despachos como muestra la Figura 12.

Stations Orders Fleet **Computation** Results

Unit Constraint **Time** Optimization

Available Hours List:

Days:	Begin	End
Monday:	00 : 00	- 00 : 00
Tuesday:	00 : 00	- 00 : 00
Wednesday:	00 : 00	- 00 : 00
Thursday:	00 : 00	- 00 : 00
Friday:	00 : 00	- 00 : 00
Saturday:	00 : 00	- 00 : 00
Sunday:	00 : 00	- 00 : 00

Holidays:

Add Holiday Remove Holiday

Begin Date End Date

Figura 12. Lista de horas disponibles por día
Tomado de (Logvrp, s.f.)

La última pestaña de este apartado presenta los algoritmos que emplea logvrp para dar solución a los problemas. Algoritmos a los que se hace referencia en el capítulo 1.

Cabe aclarar que para este proyecto se decidió que se obtendrá una primera solución resolviendo el problema con el algoritmo de Jan Dethloff, luego se resolverá con el algoritmo restante, de manera que se obtendrán dos soluciones diferentes, que luego se compararán con la situación actual de la empresa, para evidenciar la optimización de las rutas de reparto.

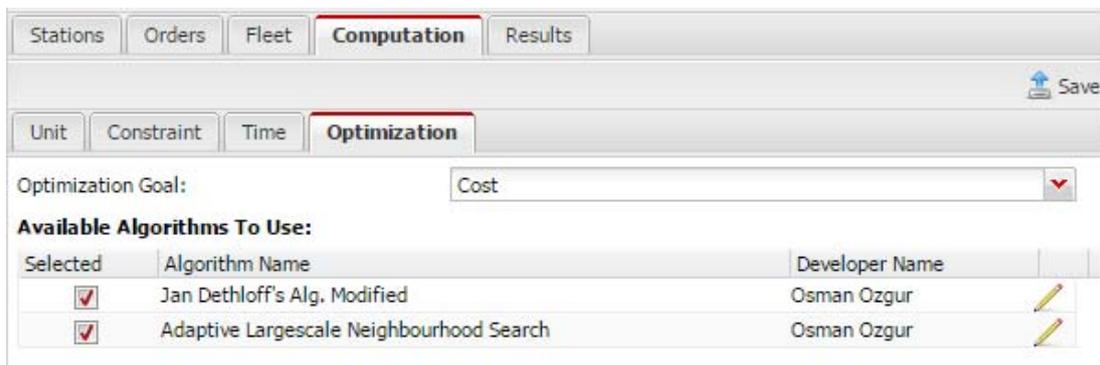


Figura 13. Algoritmos
Tomado de (Logvrp, s.f.)

3.5 Solución con ALNS

La resolución del algoritmo ALNS, se presenta en las

Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22. Según esta solución el vehículo PBU 3099 ya no realizaría entregas a los puntos de venta; siendo el vehículo más costoso de la flota contratada de vehículos, será muy notoria la reducción en los costos de transporte la salida de este vehículo. Los vehículos PBL 4241 y PBI 1358 integrarían los puntos de entrega del vehículo PBU 3099, a sus rutas.

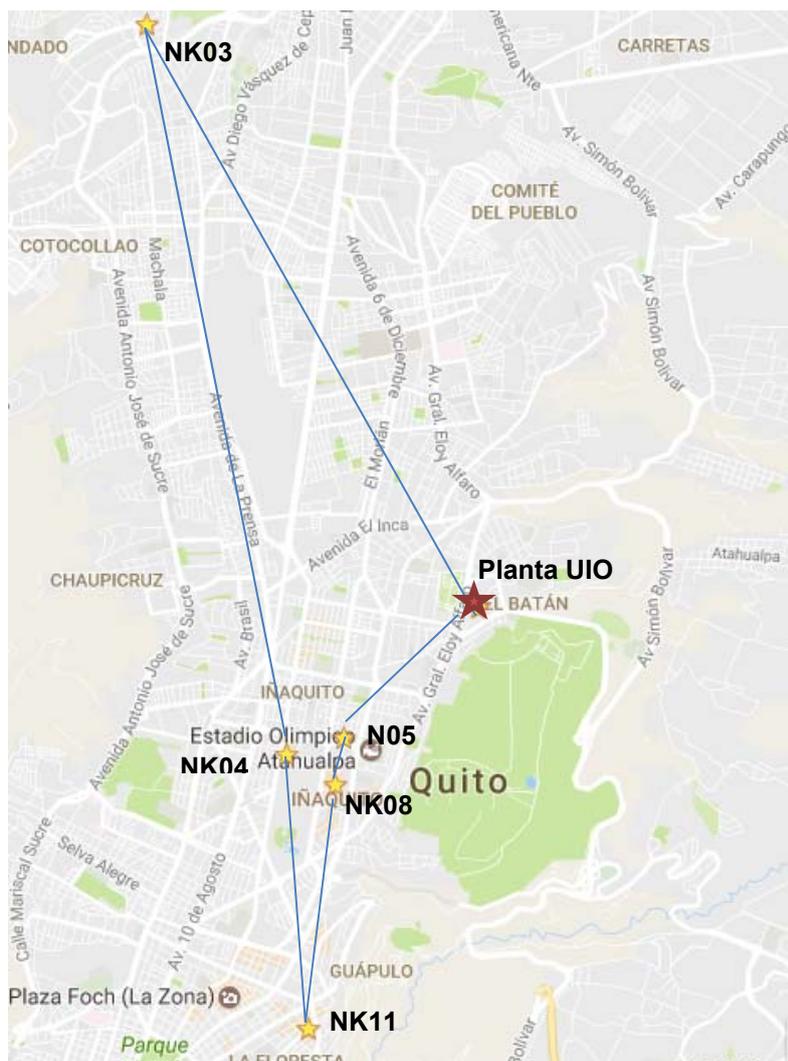


Figura 15. Nueva ruta vehículo 1358
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Las rutas de los vehículos PBT 8793 Y PCD 1037, será la misma según el algoritmo ALNS, uno contratado y el restante propio de la empresa, respectivamente. Como se muestra en la Tabla 21, ambos vehículos despacharían tres días de la semana.

Tabla 21

Nueva ruta vehículos 8793 y 1037.

Vehículos:	PCD						
	PBT 8793	1037					
Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Local	Planta UIO	-	Planta UIO	-	Planta UIO	-	-
	N001	-	N001	-	N001	-	-
	N014	-	N014	-	N014	-	-
	N002	-	N002	-	N002	-	-
	N003	-	N003	-	N003	-	-
	N012	-	N012	-	N012	-	-
	NB01	-	NB03	-	NB05	-	-



Figura 16. Nueva ruta de vehículos 8793 y 1037. Adaptado de (googlemaps, 2016)

3.5.1 Costos de solución con ALNS

La Tabla 22, refleja un ahorro del 54% en el consumo de combustible, como resultado de la reducción de los kilómetros recorridos por los vehículos.

Tabla 22

Costo de combustible con ALNS

ALNS	Combustible			
	\$/gl	Km	gl	\$/km
PCD 1037	\$ 0,91	636	39,9	\$ 0,057
PBL 4241	\$ 1,30	3248	165,4	\$ 0,07

Para el costo de matrícula y revisión vehicular, en la Tabla 23 y Tabla 24, se aprecia que para el vehículo PBL 4241 los costos se mantienen, por el contrario de lo que sucede con el vehículo PCD 1037 en el que los días de trabajo disminuyen y los costos aumentan; pero más adelante se comprueba que este aumento no representa un problema.

Tabla 23
Costo de matrícula con ALNS

ALNS	Matrícula		
	Días	\$	(\$/día)
PCD 1037	156	\$ 315,83	\$ 2,02
PBL 4241	365	\$ 271,00	\$ 0,74

Tabla 24
Costo de revisión vehicular con ALNS

ALNS	revisión vehicular		
	Días	\$	(\$/día)
PCD 1037	156	\$ 45,13	\$ 0,29
PBL 4241	365	\$ 29,00	\$ 0,08

Al igual que con el costo de matrícula y revisión vehicular, los costos del seguro para el vehículo PCD 1037, aumentan conforme disminuyen los kilómetros recorridos.

Tabla 25
Costo de seguro con ALNS

ALNS	Seguros		
	Días	\$/mes	(\$/día)
PCD 1037	13	\$ 88,67	\$ 6,82
PBL 4241	30	\$ 74,67	\$ 2,49

El costo en torno a los vehículos contratados, se exhiben en la Tabla 26, para el vehículo PBI 1358 se mantiene. Disminuye para el vehículo PBT 8793 debido a que el vehículo realiza entregas solo tres días, y no seis días a la semana como anteriormente. Como se aprecia, el costo del vehículo PBU 3099 se elimina por completo.



Figura 19. Nueva ruta de vehículo PBU 3099 con JDAM.
Adaptado de (googlemaps, 2016)

Tabla 30

Nueva ruta de los vehículos PBT 8793 y PCD 1037.

Vehículos: PBT 8793 PCD 1037							
Día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Local	Planta UIO	-	Planta UIO	-	Planta UIO	-	-
	N001	-	N001	-	N001	-	-
	N014	-	N014	-	N014	-	-
	N002	-	N002	-	N002	-	-
	N003	-	N003	-	N003	-	-
	N012	-	N012	-	N012	-	-
	NB01	-	NB03	-	NB05	-	-

3.6.1 Costos de solución con JDAM

Los costos relacionados con la solución dada por el algoritmo JDAM, se mantienen en su mayoría iguales a los costos con la solución del algoritmo ALNS; lo único que se debe mencionar es que el combustible consumido se redujo en el vehículo PBL 4241. Al minimizar los kilómetros recorridos se redujeron los galones empleados al mes y por ende hay una reducción de los gastos mensuales en combustible; que no se ve reflejado en el costo por kilómetro porque el consumo de galones es proporcional a los kilómetros recorridos.

Tabla 31
Costo de combustible con JDAM

JDAM	Combustible			
	\$/gl	km	gl	\$/km
PCD 1037	\$ 0,91	636	39,9	\$ 0,057
PBL 4241	\$ 1,30	2030	103,4	\$ 0,07

Como se presenta en la Tabla 32, los costos de los vehículos PBI 1358 y PBU 3099, se mantienen igual respecto al costo actual; el vehículo PBT 8793 si disminuye su costo, al igual que con la solución del algoritmo ALNS, por la reducción de los días contratados para que realice los despachos.

Tabla 32
Costo de vehículos contratados con JDAM

	Tarifa diaria (\$)	km	\$/km	Total anual
PBI 1358	\$ 45,00	79,1	\$ 0,57	\$ 16.425,00
PBU 3099	\$ 45,00	6,1	\$ 7,38	\$ 16.425,00
PBT 8793	\$ 85,00	26,5	\$ 3,21	\$ 13.260,00

3.7 Resumen comparativo

Como se explicó en capítulos anteriores, se definieron tres indicadores de desempeño para el sistema de distribución; a partir de estos, se presenta a continuación la comparación de los indicadores para las tres situaciones del problema.

Para el indicador de distancia diaria recorrida, se suma todos los valores de los kilómetros recorridos diariamente por cada vehículo. Como se muestra en la Tabla 33, en el escenario actual se recorren 271 km, el escenario ALNS arroja 205 km y el escenario de JDAM requiere recorrer 211 km para completar todas las rutas.

Tabla 33
Comparación de indicador de distancia diaria

Vehículo	Distancia recorrida por ruta		
	Actual	ALNS	JDAM
PBL4241	118	116	72,5
PBI 1358	43	36,3	79,1
PBU 3099	10,3	0	6,1
PBT 8793	49,6	26,5	26,5
PCD 1037	49,6	26,5	26,5
TOTAL	270,5	205,3	210,7

La situación actual, con su modo de distribución, cinco rutas, dos vehículos propios, tres vehículos contratados; constituye un costo anual de \$83.129,26 dólares.

La situación correspondiente al algoritmo JDAM, con dos vehículos propios, tres vehículos contratados, cinco rutas; significa \$ 62.841,11 dólares anuales. Esta primera solución obtenida, refleja 24% de reducción en los costos de transporte.

La situación con la solución obtenida por el algoritmo ALNS, con dos vehículos propios, dos vehículos contratados, cuatro rutas; representa \$ 49.140,83 dólares anualmente. Este costo, manifiesta un ahorro del 41% del costo total de las operaciones de transporte.

Tabla 34
Comparación de indicadores de costos anuales

		Costos		
		Situación actual	Situación ALNS	Situación JDAM
Propios	PCD 1037	\$ 9.760,99	\$ 5.210,18	\$ 4.500,03
	PBL 4241	\$ 14.338,27	\$ 14.245,65	\$ 12.231,09
Contratados	PBI 1358	\$ 16.425,00	\$ 16.425,00	\$ 16.425,00
	PBU 3099	\$ 16.425,00	\$ 0,00	\$ 16.425,00
	PBT 8793	\$ 26.180,00	\$ 13.260,00	\$ 13.260,00
	TOTAL	\$ 83.129,26	\$ 49.140,83	\$ 62.841,11

3.8 Propuesta final de optimización

Finalmente, luego de haber presentado la comparación entre la situación real y los dos supuestos planteados por los algoritmos, es notorio el potencial de la solución presentada por el algoritmo ALNS. Además del ahorro anual que figura, \$33.988,44 dólares, el que uno de los vehículos propios haya pasado de realizar entregas, 6 días a 3 días semanalmente, ofrece a la empresa la oportunidad de recibir un ingreso adicional.

Suponiendo el alquiler del vehículo, PCD 1037, se estima que la tarifa de alquiler de un camión de 3 toneladas, por día, es en un escenario optimista, \$65 dólares, y para un escenario pesimista, \$56 dólares. Se recibe un beneficio anual de \$8.736,00 dólares (tomando de referencia el escenario pesimista), como refleja la Tabla 35. Es decir, que al ahorro de \$ 49.140,83, se suman \$8.736,00 dólares; logrando al final un rédito de \$ 57.876,83 dólares.

Tabla 35. Beneficio de alquilar vehículo PCD 1037

	Pesimista	Optimista
Tarifa	\$ 56,00	\$ 65,00
Días	156	156
Ganancia	\$ 8.736,00	\$ 10.140,00

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se estudió la forma en que el proceso de distribución es realizado actualmente, en base al estudio se obtuvo mayor conocimiento de cómo funciona el sistema y se pronosticó la demanda para los puntos de venta.

Puesto que al momento no manejan indicadores en la empresa, se definieron tres indicadores de desempeño: distancia diaria recorrida por vehículo, costo anual de transporte, costo por kilómetro.

Se comparó las soluciones de ruteo de dos algoritmos matemáticos, algoritmo de Jan Dethloff y *Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic* (ALNS), mediante el cálculo del nuevo desempeño de los indicadores para cada algoritmo.

Se evidenció que los métodos heurísticos para resolución de problemas de ruteo, entregan soluciones con rapidez, y que a pesar de no ser soluciones óptimas, proporcionan soluciones factibles, capaces de reflejar ahorros de hasta el 70% del costo de transporte.

Se propuso la solución correspondiente al algoritmo ALNS, en la que se prescindió el uso de un vehículo contratado, optimizando la distancia recorrida un 24% y reduciendo el costo anual de transporte un 41%

4.2 Recomendaciones

No escatimar esfuerzos en recopilar toda la información concerniente al problema, de manera que, la representación matemática del sistema real sea lo más fehaciente posible. Solo de esta manera se asegura que las soluciones encontradas den solución a la situación real.

Incluir entre sus sistemas informáticos, una herramienta de pronóstico, servirá de complemento ideal para el sistema actual, ERP, proporcionando una mejor visión del futuro y ayudando a sus procesos de planificación.

Adquirir suscripción mensual en el *software*, Logvrp, con el plan de precio, 20 *stops capacity*; invirtiendo \$20 dólares mensuales. Para este proyecto se usó la modalidad gratis.

Estudiar la demanda de los puntos de venta; y no regirse a las agrupaciones por tipo de local, como se hace en la actualidad. Dejar el proceso de agrupación o *clustering* al software, o definir los *clusters* en base a un método matemático.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Tránsito. (2016). *Reglamento a ley de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial*. Recuperado el 23 de octubre de 2016 de <http://www.ant.gob.ec/index.php/ant/base-legal/reglamento-general-para-la-aplicacion-de-la-lotttsv>
- Albornoz, V. y. (2011). Localización de paraderos de detención y diseño óptimo de rutas en el transporte de personal. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, (págs. 457-472).
- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Santa Fé, México: Cengage Learning.
- Arias-Osorio, J., Bohórquez, C., & Díaz, H. (2012). Sistema de soporte a decisiones para el diseño de rutas escolares en Coomunclaver Ltda. *In XVI Latin-IberoAmerican Conference on Operation Research/XLIV Brazilian Symposium Research*. Rio de Janeiro, Brasil: CLAIO/SPBO.
- Contreras, A., Atziry, C., Martínez, J., & Sánchez, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Estudios gerenciales*, (págs. 1-10).
- Demir, E., Bektas, T., & Laporte, G. (2012). An adaptative large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 346-359.
- Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. New York, USA: Springer Science.
- Google. (2016). *Google Maps*. Recuperado de www.google.com/ec/maps
- Guasch, J. (2011). La logística como motor de la competitividad en América Latina y el Caribe. *V Foro de Competitividad de las Américas* (pág. 2). Santo Domingo, República Dominicana: Compete Caribbean.
- Hanne, T., & Dornberger, R. (2016). *Computational Intelligence in Logistics and Supply Chain Management*. Berna, Suiza: Springer Nature.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.

- Lahmiri, S. &. (2015). Intelligent Ensemble Forecasting System of Stock Market Fluctuations Based on Symetric and Asymetric Wavelet Functions. *Fluctuation & Noise Letters*.
- Logvrp. (2016). *Logvrp*. Recuperado de www.logvrp.com
- Monk, E., & Wagner, B. (2012). *Concepts in enterprise resource planning*. Boston, USA: Cengage Learning.
- Nava, F. (2013). *Procesamiento de series de tiempo*. México D.F., México: Fondo de cultura económica.
- Pino, R., Lozano, J., Martínez, C., & Villanueva, V. (2011). Estado del arte para la resolución de enrutamiento de vehículos con restricciones de capacidad. *V international conference on industrial engineering and industrial management*, (págs. 847-856).
- Poole, D. (2011). *Álgebra lineal*. México D.F., México: Cengage Learning.
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Obtenido de http://dhcp-85.gams.com/docs/contributed/modelado_en_gams.pdf
- Ravi, R. (2008). *Operations Research and Management Science Handbook*. USA: CRC Press.
- Soret, I., & Giménez, E. (2013). *Previsión de ventas y fijación de objetivos*. Madrid, España: Esic Editorial.
- Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo 1.

■ **TABLA 1.1** Aplicaciones de la investigación de operaciones que se describirán en los recuadros de aplicación

Organización	Área de aplicación	Sección	Ahorros anuales
Federal Express	Planeación logística de envíos	1.3	No estimados
Continental Airlines	Reasignación de tripulaciones a vuelos cuando ocurren interrupciones en el itinerario	2.2	\$40 millones
Swift & Company	Mejora del desempeño en ventas y manufactura	3.1	\$12 millones
Memorial Sloan-Kettering Cancer Center	Diseño de terapia de radiación	3.4	\$459 millones
United Airlines	Plan para los programas de trabajo de los empleados en aeropuertos y oficinas de reservación	3.4	\$6 millones
Welch's	Optimización del uso y movimiento de materias primas	3.6	\$150 000
Samsung Electronics	Reducción de tiempos de manufactura y niveles de inventario	4.3	Ganancias adicionales de \$200 millones
Pacific Lumber Company	Gestión de ecosistemas forestales a largo plazo	6.7	\$398 millones VPN
Procter & Gamble	Rediseño del sistema de producción y distribución	8.1	\$200 millones
Canadian Pacific Railway	Plan de rutas para un tren de carga	9.3	\$100 millones
United Airlines	Reasignación de aviones a vuelos cuando ocurren interrupciones	9.6	No estimados
Ejército de Estados Unidos	Planeación logística de la Operación Tormenta del Desierto	10.3	No estimados
Air New Zealand	Programación de tripulaciones en una aerolínea	11.2	\$6.7 millones
Taco Bell	Planeación de los programas de trabajo de los empleados de restaurantes	11.5	\$13 millones
Gestión de desperdicios	Desarrollo de un sistema de administración de rutas para la recolección y disposición de basura	11.7	\$100 millones
Bank Hapoalim Group	Desarrollo de un sistema de apoyo a las decisiones de asesores en inversiones	12.1	Ganancias adicionales de \$31 millones
Sears	Rutas y programación de vehículos para servicio y entregas a domicilio	13.2	\$42 millones
Conoco-Phillips	Evaluación de proyectos de exploración petrolera	15.2	No estimados
Oficina de compensaciones a los trabajadores	Gestión de solicitudes de incapacidad y rehabilitación de alto riesgo	15.3	\$4 millones
Westinghouse	Evaluación de proyectos de investigación y desarrollo	15.4	No estimados
Merrill Lynch	Administración del riesgo de liquidez de líneas de crédito revolventes	16.2	Liquidez adicional de \$4 mil millones
PSA Peugeot Citroën	Guía para el proceso de diseño de plantas de ensamble de automóviles eficientes	16.8	Utilidades adicionales de \$130 millones
KeyCorp	Mejora de la eficiencia de los cajeros de banco	17.6	\$20 millones
General Motors	Mejora de la eficiencia de líneas de producción	17.9	\$90 millones
Deere & Company	Administración de inventarios a lo largo de una cadena de suministro	18.5	Reducción de \$1 000 millones en inventario
Time Inc.	Administración de canales de distribución de revistas	18.7	Utilidades adicionales de \$3.5 millones
Bank One Corporation	Administración de líneas de crédito y tasas de interés de tarjetas de crédito	19.2	Utilidades adicionales de \$75 millones
Merrill Lynch	Análisis de precios de provisión de servicios financieros	20.2	Ganancias adicionales de \$50 millones
AT&T	Diseño y operación de centros de atención telefónica	20.5	Utilidades adicionales de \$750 millones

(Hillier , 2010, p 4)

Anexo 2. Pronóstico de demanda diaria de local N001-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Pronóstico	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	106	106	0	0
2	04/07/2016	132	106	26	26
3	06/07/2016	106	109	-3	3
4	08/07/2016	84	108	-24	24
5	11/07/2016	131	106	25	25
6	13/07/2016	91	108	-17	17
7	15/07/2016	122	107	15	15
8	18/07/2016	68	108	-40	40
9	20/07/2016	98	104	-6	6
10	22/07/2016	103	104	-1	1
11	25/07/2016	77	104	-27	27
12	27/07/2016	117	101	16	16
13	29/07/2016	133	102	31	31
14	31/07/2016	111	106	5	5
			108	MAD	17

Anexo 3. Pronóstico de demanda de local N002-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	88	88	0	0
2	02/07/2016	68	88	-20	20
3	05/07/2016	65	86	-21	21
4	07/07/2016	94	84	10	10
5	09/07/2016	106	85	21	21
6	12/07/2016	98	87	11	11
7	14/07/2016	104	88	16	16
8	16/07/2016	79	90	-11	11
9	19/07/2016	72	89	-17	17
10	21/07/2016	78	87	-9	9
11	23/07/2016	74	86	-12	12
12	26/07/2016	72	85	-13	13
13	28/07/2016	95	84	11	11
14	30/07/2016	45	85	-40	40
			81	MAD	15

Anexo 4. Pronóstico de demanda de local N003-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	221	221	0	0
2	02/07/2016	213	221	-8	8
3	05/07/2016	185	220	-35	35
4	07/07/2016	226	217	9	9
5	09/07/2016	243	218	25	25
6	12/07/2016	201	220	-19	19
7	14/07/2016	258	218	40	40
8	16/07/2016	205	222	-17	17
9	19/07/2016	218	220	-2	2
10	20/07/2016	238	220	18	18
11	21/07/2016	263	222	41	41
12	23/07/2016	229	226	3	3
13	26/07/2016	209	226	-17	17
14	28/07/2016	256	225	31	31
15	30/07/2016	220	228	-8	8
			227		18

Anexo 5. Pronóstico de demanda de local N012-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	169	169	0	0
2	02/07/2016	156	169	-13	13
3	05/07/2016	178	168	10	10
4	07/07/2016	132	169	-37	37
5	09/07/2016	146	165	-19	19
6	12/07/2016	179	163	16	16
7	14/07/2016	161	165	-4	4
8	15/07/2016	134	164	-30	30
9	16/07/2016	129	161	-32	32
10	19/07/2016	162	158	4	4
11	21/07/2016	165	158	7	7
12	23/07/2016	128	159	-31	31
13	26/07/2016	164	156	8	8
14	28/07/2016	130	157	-27	27
15	30/07/2016	163	154	9	9
			155		16

Anexo 6. Pronóstico de demanda de local N014-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	137	137	0	0
2	04/07/2016	173	137	36	36
3	06/07/2016	182	141	41	41
4	08/07/2016	132	145	-13	13
5	11/07/2016	192	143	49	49
6	13/07/2016	142	148	-6	6
7	15/07/2016	146	148	-2	2
8	18/07/2016	191	148	43	43
9	20/07/2016	162	152	10	10
10	22/07/2016	147	153	-6	6
11	25/07/2016	167	152	15	15
12	27/07/2016	137	154	-17	17
13	29/07/2016	167	152	15	15
			154		19

Anexo 7. Pronóstico de demanda de local NB01-SECOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	02/07/2016	89	89	0	0
2	05/07/2016	54	89	-35	35
3	07/07/2016	84	86	-2	2
4	09/07/2016	80	85	-5	5
5	12/07/2016	38	85	-47	47
6	14/07/2016	74	80	-6	6
7	15/07/2016	48	80	-32	32
8	16/07/2016	80	76	4	4
9	19/07/2016	53	77	-24	24
10	21/07/2016	63	74	-11	11
11	23/07/2016	95	73	22	22
12	26/07/2016	89	75	14	14
13	28/07/2016	52	77	-25	25
14	30/07/2016	51	74	-23	23
			72		18

Anexo 8. Pronóstico de demanda de local N001-CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$
1	01/07/2016	149	149	0	0
2	04/07/2016	103	149	-46	46
3	06/07/2016	144	144	0	0
4	08/07/2016	154	144	10	10
5	11/07/2016	96	145	-49	49
6	13/07/2016	145	140	5	5
7	15/07/2016	152	141	11	11
8	18/07/2016	100	142	-42	42
9	20/07/2016	154	138	16	16
10	22/07/2016	143	139	4	4
11	25/07/2016	93	140	-47	47
12	27/07/2016	117	135	-18	18
13	29/07/2016	145	133	12	12
			134		20

Anexo 9. Pronóstico de demanda de local N002- CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$
1	02/07/2016	104,0	104	0	0
2	05/07/2016	132,7	104	29	29
3	07/07/2016	138,0	107	31	31
4	09/07/2016	95,6	110	-14	14
5	12/07/2016	128,0	109	19	19
6	14/07/2016	137,0	110	27	27
7	16/07/2016	107,7	113	-5	5
8	19/07/2016	131,0	113	18	18
9	21/07/2016	137,0	114	23	23
10	23/07/2016	99,0	117	-18	18
11	26/07/2016	127,0	115	12	12
12	28/07/2016	134,0	116	18	18
13	30/07/2016	103,0	118	-15	15
			116		15

Anexo 10. Pronóstico de demanda de local N003- CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	02/07/2016	85	85	0	0
2	05/07/2016	67	85	-18	18
3	07/07/2016	100	83	17	17
4	09/07/2016	76	85	-9	9
5	12/07/2016	56	84	-28	28
6	14/07/2016	109	81	28	28
7	16/07/2016	56	84	-28	28
8	19/07/2016	73	81	-8	8
9	21/07/2016	54	81	-27	27
10	23/07/2016	46	78	-32	32
11	26/07/2016	98	75	23	23
12	28/07/2016	70	77	-7	7
13	30/07/2016	93	76	16	16
			78		19

Anexo 11. Pronóstico de demanda de local N012- CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	02/07/2016	99	99	0	0
2	05/07/2016	108	99	9	9
3	07/07/2016	118	100	18	18
4	09/07/2016	98	102	-4	4
5	12/07/2016	70	101	-31	31
6	14/07/2016	111	98	13	13
7	16/07/2016	102	99	2	2
8	19/07/2016	74	100	-25	25
9	21/07/2016	118	97	21	21
10	23/07/2016	105	99	6	6
11	26/07/2016	102	100	2	2
12	28/07/2016	82	100	-18	18
13	30/07/2016	116	98	18	18
			100		13

Anexo 13. Pronóstico de demanda de local N014- CONGELADOS N014

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	96	96	0	0
2	04/07/2016	103	96	7	7
3	06/07/2016	59	97	-38	38
4	08/07/2016	91	93	-2	2
5	11/07/2016	103	93	10	10
6	13/07/2016	48	94	-46	46
7	15/07/2016	77	89	-12	12
8	18/07/2016	99	88	-11	11
9	20/07/2016	35	89	10	10
10	22/07/2016	42	84	-48	48
11	25/07/2016	55	80	-37	37
12	27/07/2016	74	77	-22	22
13	29/07/2016	84	77	-3	3
			77		19

Anexo 14. Pronóstico de demanda de local N0B01- CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	02/07/2016	57	57	0	0
2	05/07/2016	74	57	17	17
3	06/07/2016	58	59	-1	1
4	07/07/2016	51	59	-7	7
5	08/07/2016	56	58	-2	2
6	09/07/2016	107	58	49	49
7	12/07/2016	46	63	-17	17
8	14/07/2016	39	61	-22	22
9	16/07/2016	60	59	1	1
10	19/07/2016	53	59	-6	6
11	21/07/2016	102	58	43	43
12	23/07/2016	47	63	-16	16
13	26/07/2016	50	61	-12	12
14	28/07/2016	52	60	-8	8
15	30/07/2016	56	59	-3	3
			59		14

Anexo 15. Pronóstico de demanda de local NK1-13- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	286	286	0	0
2	02/07/2016	315	286	29	29
3	04/07/2016	313	289	24	24
4	05/07/2016	295	291	4	4
5	06/07/2016	305	292	13	13
6	07/07/2016	311	293	18	18
7	08/07/2016	286	295	-9	9
8	09/07/2016	289	294	-5	5
9	11/07/2016	330	293	37	37
10	12/07/2016	295	297	-2	2
11	13/07/2016	271	297	-26	26
12	14/07/2016	286	294	-8	8
13	15/07/2016	312	293	19	19
14	16/07/2016	263	295	-32	32
15	18/07/2016	283	292	-9	9
16	19/07/2016	323	291	32	32
17	20/07/2016	290	294	-4	4
18	21/07/2016	270	294	-24	24
19	22/07/2016	271	292	-21	21
20	23/07/2016	300	289	11	11
21	25/07/2016	317	291	26	26
22	26/07/2016	284	293	-9	9
23	27/07/2016	285	292	-7	7
24	28/07/2016	290	292	-2	2
25	29/07/2016	309	291	18	18
26	30/07/2016	308	293	15	15
			295		15

Anexo 16. Pronóstico de demanda de local NK02- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	256	256	0	0
2	02/07/2016	297	256	41	41
3	04/07/2016	258	260	-2	2
4	05/07/2016	258	260	-2	2
5	06/07/2016	296	260	36	36
6	07/07/2016	288	263	25	25
7	08/07/2016	294	266	28	28
8	09/07/2016	274	269	5	5
9	11/07/2016	259	269	-10	10
10	12/07/2016	296	268	28	28
11	13/07/2016	258	271	-13	13
12	14/07/2016	288	270	18	18
13	15/07/2016	278	271	7	7
14	16/07/2016	267	272	-5	5
15	18/07/2016	254	272	-18	18
16	19/07/2016	252	270	-18	18
17	20/07/2016	261	268	-7	7
18	21/07/2016	245	267	-22	22
19	22/07/2016	266	265	1	1
20	23/07/2016	283	265	18	18
21	25/07/2016	287	267	20	20
22	26/07/2016	256	269	-13	13
23	27/07/2016	245	268	-23	23
24	28/07/2016	256	265	-9	9
25	29/07/2016	254	264	-10	10
26	30/07/2016	249	263	-14	14
			262		15

Anexo 17. Pronóstico de demanda de local NK03- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	268	268	0	0
2	02/07/2016	206	268	-62	62
3	04/07/2016	243	262	-19	19
4	05/07/2016	266	260	6	6
5	06/07/2016	259	261	-2	2
6	07/07/2016	273	260	13	13
7	08/07/2016	263	262	1	1
8	09/07/2016	288	262	26	26
9	11/07/2016	266	264	2	2
10	12/07/2016	298	265	33	33
11	13/07/2016	254	268	-14	14
12	14/07/2016	234	267	-33	33
13	15/07/2016	285	263	22	22
14	16/07/2016	278	265	13	13
15	18/07/2016	265	267	-2	2
16	19/07/2016	268	267	1	1
17	20/07/2016	247	267	-20	20
18	21/07/2016	266	265	1	1
19	22/07/2016	293	265	28	28
20	23/07/2016	289	268	21	21
21	25/07/2016	277	270	7	7
22	26/07/2016	239	271	-32	32
23	27/07/2016	248	267	-19	19
24	28/07/2016	276	265	11	11
25	29/07/2016	246	266	-20	20
26	30/07/2016	246	264	-18	18
			263		16

Anexo 18. Pronóstico de demanda de local NK04- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	210	210	0	0
2	02/07/2016	226	210	16	16
3	04/07/2016	203	212	-9	9
4	05/07/2016	195	211	-16	16
5	06/07/2016	239	209	30	30
6	07/07/2016	203	212	-9	9
7	08/07/2016	230	211	19	19
8	09/07/2016	216	213	3	3
9	11/07/2016	226	213	13	13
10	12/07/2016	218	215	3	3
11	13/07/2016	201	215	-14	14
12	14/07/2016	196	214	-18	18
13	15/07/2016	207	212	-5	5
14	16/07/2016	187	211	-24	24
15	18/07/2016	228	209	19	19
16	19/07/2016	213	211	2	2
17	20/07/2016	234	211	23	23
18	21/07/2016	206	213	-7	7
19	22/07/2016	241	213	28	28
20	23/07/2016	199	215	-16	16
21	25/07/2016	213	214	-1	1
22	26/07/2016	226	214	12	12
23	27/07/2016	167	215	-48	48
24	28/07/2016	209	210	-1	1
25	29/07/2016	172	210	-38	38
26	30/07/2016	196	206	-10	10
			205		15

Anexo 19. Pronóstico de demanda de local NK06- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	175	175	0	0
2	02/07/2016	216	175	41	41
3	04/07/2016	166	179	-13	13
4	05/07/2016	186	178	8	8
5	06/07/2016	195	179	16	16
6	07/07/2016	217	180	37	37
7	08/07/2016	181	184	-3	3
8	09/07/2016	160	184	-24	24
9	11/07/2016	195	181	14	14
10	12/07/2016	184	183	1	1
11	13/07/2016	187	183	4	4
12	14/07/2016	208	183	25	25
13	15/07/2016	165	186	-21	21
14	16/07/2016	153	184	-31	31
15	18/07/2016	182	181	1	1
16	19/07/2016	150	181	-31	31
17	20/07/2016	200	178	22	22
18	21/07/2016	169	180	-11	11
19	22/07/2016	180	179	1	1
20	23/07/2016	213	179	34	34
21	25/07/2016	195	182	13	13
22	26/07/2016	164	184	-20	20
23	27/07/2016	183	182	1	1
24	28/07/2016	203	182	21	21
25	29/07/2016	189	184	5	5
26	30/07/2016	165	184	-19	19
			182		16

Anexo 20. Pronóstico de demanda de local NK07- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	169	169	0	0
2	02/07/2016	189	169	20	20
3	04/07/2016	166	171	-5	5
4	05/07/2016	159	171	-12	12
5	06/07/2016	202	169	33	33
6	07/07/2016	183	173	10	10
7	08/07/2016	174	174	0	0
8	09/07/2016	164	174	-10	10
9	11/07/2016	163	173	-10	10
10	12/07/2016	193	172	21	21
11	13/07/2016	186	174	12	12
12	14/07/2016	157	175	-18	18
13	15/07/2016	188	173	15	15
14	16/07/2016	168	175	-7	7
15	18/07/2016	173	174	-1	1
16	19/07/2016	155	174	-19	19
17	20/07/2016	158	172	-14	14
18	21/07/2016	166	171	-5	5
19	22/07/2016	171	170	1	1
20	23/07/2016	189	170	19	19
21	25/07/2016	182	172	10	10
22	26/07/2016	168	173	-5	5
23	27/07/2016	169	173	-4	4
24	28/07/2016	156	172	-16	16
25	29/07/2016	160	171	-11	11
26	30/07/2016	167	170	-3	3
			169		11

Anexo 21. Pronóstico de demanda de local NK08- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)	($\alpha=0,1$)
1	01/07/2016	222	222	0	0
2	02/07/2016	236	222	14	14
3	04/07/2016	249	223	26	26
4	05/07/2016	213	226	-13	13
5	06/07/2016	242	225	17	17
6	07/07/2016	236	226	10	10
7	08/07/2016	178	227	-49	49
8	09/07/2016	189	222	-33	33
9	11/07/2016	230	219	11	11
10	12/07/2016	208	220	-12	12
11	13/07/2016	243	219	24	24
12	14/07/2016	221	221	0	0
13	15/07/2016	206	221	-15	15
14	16/07/2016	239	220	19	19
15	18/07/2016	209	222	-13	13
16	19/07/2016	204	220	-16	16
17	20/07/2016	229	219	10	10
18	21/07/2016	243	220	23	23
19	22/07/2016	224	222	2	2
20	23/07/2016	206	222	-16	16
21	25/07/2016	241	221	20	20
22	26/07/2016	222	223	-1	1
23	27/07/2016	216	223	-7	7
24	28/07/2016	244	222	22	22
25	29/07/2016	266	224	42	42
26	30/07/2016	223	228	-5	5
			228		16

Anexo 22. Pronóstico de demanda de local NK11- SECOS - CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$
1	01/07/2016	116	116	0	0
2	02/07/2016	119	116	3	3
3	04/07/2016	154	116	38	38
4	05/07/2016	148	120	28	28
5	07/07/2016	108	123	-15	15
6	08/07/2016	134	121	13	13
7	09/07/2016	148	123	25	25
8	11/07/2016	106	125	-19	19
9	12/07/2016	122	123	-1	1
10	13/07/2016	152	123	29	29
11	14/07/2016	132	126	6	6
12	15/07/2016	101	127	-26	26
13	16/07/2016	147	124	23	23
14	18/07/2016	115	126	-11	11
15	19/07/2016	102	125	-23	23
16	20/07/2016	144	123	21	21
17	21/07/2016	130	125	5	5
18	22/07/2016	117	126	-9	9
19	23/07/2016	106	125	-19	19
20	25/07/2016	137	123	14	14
21	26/07/2016	115	124	-9	9
22	27/07/2016	102	123	-21	21
23	28/07/2016	116	121	-5	5
24	29/07/2016	108	121	-13	13
25	30/07/2016	100	119	-19	19
			117		16

Anexo 23. Pronóstico de demanda de local N05- SECOS – CONGELADOS

N.	Fecha	Cantidad (kg)	Prediction	e_t	$ e_t $
			$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$	$(\alpha=0,1)$
1	01/07/2016	183	183	0	0
2	02/07/2016	192	183	9	9
3	04/07/2016	183	184	-1	1
4	05/07/2016	193	184	9	9
5	06/07/2016	176	185	-9	9
6	07/07/2016	162	184	-22	22
7	08/07/2016	156	182	-26	26
8	09/07/2016	177	179	-2	2
9	11/07/2016	144	179	-35	35
10	12/07/2016	136	175	-39	39
11	13/07/2016	171	171	0	0
12	14/07/2016	190	171	19	19
13	15/07/2016	139	173	-34	34
14	16/07/2016	146	170	-24	24
15	18/07/2016	186	167	19	19
16	19/07/2016	178	169	9	9
17	20/07/2016	155	170	-15	15
18	21/07/2016	143	169	-26	26
19	22/07/2016	173	166	7	7
20	23/07/2016	186	167	19	19
21	25/07/2016	152	169	-17	17
22	26/07/2016	174	167	7	7
23	27/07/2016	196	168	28	28
24	28/07/2016	152	171	-19	19
25	29/07/2016	206	169	37	37
26	30/07/2016	214	172	42	42
			177		18

Anexo 24.

Costos unitarios situación actual

	Km/ dia	Combustible (\$/km)	Mantenimiento (\$/km)	Conductores (\$/km)	Neumáticos (\$/km)	Seguros (\$/km)	Matrícula (\$/km)	Revisión (\$/km)	Total (\$/km)	costo diario	costo anual
PCD 1037	50	\$ 0,06	\$ 0,05	\$ 0,42	\$ 0,02	\$ 0,07	\$ 0,02	\$ 0,00	\$ 0,64	\$ 31,69	\$ 9.760,99
PBL 4241	118	\$ 0,07	\$ 0,05	\$ 0,18	\$ 0,01	\$ 0,02	\$ 0,01	\$ 0,00	\$ 0,33	\$ 39,28	\$14.338,27
											\$ 24.099,26

Costos unitarios ALNS

	Km/ dia	Combustible (\$/km)	Mantenimiento (\$/km)	Conductores (\$/km)	Neumáticos (\$/km)	Seguros (\$/km)	Matrícula (\$/km)	Revisión (\$/km)	Total (\$/km)	costo diario	costo anual
PCD 1037	27	\$ 0,06	\$ 0,05	\$ 0,79	\$ 0,02	\$ 0,26	\$ 0,08	\$ 0,01	\$ 1,26	\$ 33,40	\$5.210,18
PBL 4241	116	\$ 0,07	\$ 0,05	\$ 0,18	\$ 0,01	\$ 0,02	\$ 0,01	\$ 0,00	\$ 0,34	\$ 39,03	\$14.245,65
											\$19.455,83

Costos unitarios JDAM

	Km/ dia	Combustible (\$/km)	Mantenimiento (\$/km)	Conductores (\$/km)	Neumáticos (\$/km)	Seguros (\$/km)	Matrícula (\$/km)	Revisión (\$/km)	Total (\$/km)	costo diario	costo anual
PCD 1037	27	\$ 0,06	\$ 0,05	\$ 0,79	\$ 0,02	\$ 0,13	\$ 0,04	\$ 0,01	\$ 1,09	\$ 28,85	\$ 4.500,03
PBL 4241	73	\$ 0,07	\$ 0,05	\$ 0,29	\$ 0,01	\$ 0,03	\$ 0,01	\$ 0,00	\$ 0,46	\$ 33,51	\$ 12.231,09
											\$ 16.731,11

