



MODELO MATEMÁTICO DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DEL REPARTO DE LA EMPRESA SAN ISIDRO LABRADOR S.R.L. EN EL AÑO 2015

Teresa Carbonel Namay¹

¹Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo

RESUMEN

La presente tesis buscó planificar las rutas de reparto de carga a través de un modelo matemático para minimizar los costos del reparto de cargas de la empresa San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015. El estudio se aplicó a los 275 principales clientes de esta empresa, de los cuáles se escogió por muestreo de poblaciones finitas a 161 clientes, realizándose un estudio pre test y pos test, a quienes se aplicó un cuestionario que mide la satisfacción de la calidad del servicio de reparto, luego se procedió mapear a los 45 clientes insatisfechos en Google MAPS y medir las distancias entre nodos obteniendo la zonificación de 5 clusters por cercanía de puntos, seguido se calculó los costos operativos por hora de mano de obra, mantenimiento y combustible y se desarrolló el modelo matemático de algoritmo de pétalos en LINGO System siendo la función objetivo minimizar los costos del reparto de carga y las restricciones de demanda, capacidad, tiempo total, hora de salida y kilometraje del vehículo. Teniendo como resultados una reducción del 43.7% los costos de reparto y un 49.9% de distancia recorrida. El impacto del modelo matemático en los costos del reparto fueron corroborados con la prueba estadística t-student, dando un valor ($p=0.017$) menor que 0.05. Lo cual permitió aceptar la hipótesis del modelo matemático de planificación de rutas si minimiza los costos del reparto de carga.

Palabras clave: modelo matemático, transporte, costos de reparto.

ABSTRACT

The present research sought to plan the routes of cargo distribution through a mathematical model in order to minimize cargo distribution costs of the Enterprise San Isidro Labrador S.R.L. in 2015. The study was applied to the main 275 customers of this Enterprise, from which 161 customers were chosen by means of finite population sampling. A pre-test and a post-test were carried out and a questionnaire that measures the satisfaction of distribution service quality was applied. Later, 45 unsatisfied customers were mapped in Google Maps, and the distances between nodes were measured, obtaining the zoning of 5 clusters by means of the proximity of points. Then, the operating costs per hour of labor, maintenance and fuel were calculated, and the algorithmic mathematical model of petals in LINGO System was developed. The target function was to minimize the cargo distribution costs, and the restrictions of demand, capacity, total time, departing time and vehicle mileage. The results were a reduction of 43.7% in costs of distribution and 49.9% in distance traveled. The costs of distribution were corroborated by the Shapiro –Wilk test of normality, resulting in a value higher than 0.05 ($p=0.503$). Afterwards, the Student's t-test was done, which gave a value lower than 0.05 ($p=0.017$). The results obtained allowed to determine that mathematical model of routes planning do minimize the costs of cargo distribution.

Keywords: mathematical model, transport, costs of distribution.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la distribución de mercaderías se ha visto incrementada por el crecimiento de la producción de empresas manufactureras, los envíos de productos de exportación hacia puertos, los ingresos de importaciones y la comercialización de las mismas; es así que el transporte representa un 5.7% del PBI en el 2013 (Instituto Nacional de Estadística e Información, 2014) del cual el 75.5% representa el transporte terrestre empero la longitud de las redes viales es 149659.97 km aunque solo el 12.5% está pavimentado a nivel nacional (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Oficina de Estadística, 2013) es por ello que la infraestructura y el diseño de las redes de transporte no son muy eficientes; el crecimiento del mercado ocasiona que se incremente la competencia en el sector por la cual las empresas deben optimizar sus recursos, para ello existen varias herramientas como lo es el modelo matemático. La planificación de rutas permite optimizar la distancia entre dos puntos extremos a causa de minimizar la función objetivo mediante un conjunto de restricciones matemáticas que se imponen a las variables de decisión (KONG, 2010).

Los limitantes son de distancia recorrida, tiempo de reparto, tiempo de carga y descarga, costo de transporte, tiempo de embotellamiento, entre otros determinados por el analista (CASTELLANOS, 2009). Los factores externos que afectan las variables son las huelgas o movilizaciones, las pésimas condiciones de las pistas por lo que se toman rutas alternas, la congestión vehicular por días festivos, entre otros. Pese al gran potencial que una planificación de rutas en base a los modelos matemáticos es muy poco empleado por el sector empresarial, tal vez por un desconocimiento de esta metodología o porque les es difícil discernir entre las múltiples variables que afectan el desempeño de esta labor; por lo cual amerita que se investigue y profundice

un poco más en este aspecto de la ciencia, de tal manera que se logre poner al servicio del sector transporte estas técnicas y así logren optimizar sus recursos y abaraten sus costos, lo cual se irradia de manera favorable a las empresas que hacen uso de este servicio. La empresa de transporte de carga San Isidro Labrador S.R.L. posee a 5 trabajadores administrativos, emplea 5 conductores de camiones y 20 estibadores (cifra variable de acuerdo a la cantidad de carga).

La sede principal es en Trujillo ya que aquí se reparte toda la mercancía transportada desde Lima, en donde se ubica la sucursal. Esta empresa posee más de 20 años en el mercado trujillano haciéndose ganadora del Premio Muchik de Oro en el 2009 a mejor empresa; pero este título se ha perdido debido a que existen empresas de transportes con mayor competitividad y seguridad en el transporte de la carga. En este servicio se está generando varias deficiencias que afectan la calidad del servicio y los costos operativos de la empresa, los cuales son: no se tiene establecido una política para la distribución de cargas, por lo cual los choferes usan cada uno su criterio y experiencia para elegir la ruta de reparto, ocasionando sobre tiempos en el reparto, sobrecostos de combustible y de mano de obra, el incremento del tiempo de reparto hasta el incumplimiento de la entrega formando un doble envío y la carga no entregada ingresa a almacén produciendo inventario en tránsito además de operaciones de carga y descarga de mercadería, causando la insatisfacción del cliente y gastos en la empresa.

En la investigación realizada por Cadillo José, titulada “Estudio comparativo de la aplicación de heurísticas al problema de ruteo de vehículos”; buscó determinar el mejor modelo heurístico al problema de ruteo de vehículos, para lo cual realizó un mapeo de los 42 puntos de venta para la resolución del VRP (Vehicle Routing Problem) a partir de las distancias recorridas por el transporte hacia cada uno

de los puntos de la red y se midió la eficiencia del sistema con indicadores de distancia recorrida, coeficiente de cumplimiento, factor de uso y frecuencia de entrega; para luego resolver el problema en LINDO System con propuestas de Modelo matemático – Cercanía de puntos, Modelo matemático – Método del barrido, Cercanía de puntos – Método del Ahorro, Método del barrido – Método del Ahorro, Gran ruta – Método del Ahorro y Modelo computacional. En base a los resultados de cada modelo se llega a tomar la decisión es el Modelo matemático – Cercanía de puntos debido a que recorre la menor distancia no sólo ideal sino también real que fue 0.25% menor que el modelo matemático con método del barrido, 3.36% menor que el método cercanía de puntos con método del ahorro, 6.11% menor que el método del barrido con método del ahorro, 7.97% menor que el método gran ruta con método del ahorro y 14.15% menor que el método computacional. Utilizando el factor de linealidad que según el análisis fue de 1.383 con una desviación estándar de 0.130. (CADILLO, 2011)

De igual manera Gonzales Daniel, buscó la “Optimización del sistema de control de verificación de supervivencia de pensionistas de renta vitalicia en una compañía aseguradora”, la cual desarrolló un modelo matemático para buscar optimizar la productividad de los visitantes de Renta Vitalicia al obtener un ruta ideal para realizar el recorrido, por lo cual zonificó a los pensionistas y realizó el procedimiento y criterio para el armado de Clusters basándose en supuestos en la solución del modelo matemático y realizar el desarrollo del modelo matemático tomando distancias euclidianas en la red potencial inicial para realizar la formulación matemática de ruta corta estableciendo un rango de horas que resulta del tiempo total recorrido más los tiempos no previstos en un escenario pesimista y optimista a un 95% de confianza de las penalizaciones en velocidad del ómnibus y de la persona a

través de LINDO System. En base a los resultados la cantidad de días que utilizaba el visitador se han reducido de 32 a 20 días (62.5 %), realizando un cluster por día, también se mejoró la producción diaria del visitador de 12 visitas efectivas por día a aproximadamente 20 visitas efectivas por día incrementándose un 166.7 %, teniendo en cuenta que cabe la posibilidad de no ubicar al pensionista. (GONZALES, 2011)

De la misma forma en la investigación de Pérez Jimena Cecilia y Silva Pimentel Consuelo, titulada “Optimización del transporte de materia prima de una empresa esparraguera”, la cual determinó un método óptimo de transporte de materia prima que minimice los costos de combustible y los costos de merma de la empresa esparraguera SAVSA mediante la aplicación de un modelo de programación lineal se obtuvieron las cantidades diarias de materia prima ofertadas por cada proveedor durante un mes, los costos de transporte en los que se incurrió y los recursos empleados, para la formulación y solución del modelo propuesto se empleó LINGO Systems. Para demostrar que existe diferencia significativa entre los valores del modelo propuesto y la empresa se empleó la prueba de hipótesis de diferencias pareadas para el costo de combustible y el costo de mermas. Finalmente se logró disminuir el costo del combustible un 24.9% y el costo de merma un 7.8% con el modelo propuesto el costo total promedio diario de transporte de materia prima disminuye 21.2% y el mensual 21.17%. (PÉREZ, y otros, 2000)

La cadena de suministro, la cual es un conjunto de actividades que interrelaciona el proceso de abastecimiento, fabricación y distribución; siendo así que opera de manera integrada los procesos estratégicos y de soporte de la organización enlazadas con las actividades de los proveedores y clientes (CHAVEZ, y otros, 2012). La distribución es una directriz clave de la rentabilidad total de la compañía, debido a

que afecta de manera directa tanto los costos de la cadena como la experiencia del cliente. Es por ello que una red de distribución adecuada se emplea para lograr una variedad de objetivos de la cadena de suministro que van desde un bajo costo hasta una gran capacidad de respuesta. Cambiar el diseño de la red de distribución afecta los siguientes costos de la cadena de suministro: inventario, transporte, instalaciones y manejo de información (SUNIL, 2008).

Los costos de distribución está constituido por los vehículos que incurren en costos de operación (habitualmente el vehículo va cargado en el reparto y regresa vacío si logra compensar los envíos) y en costes de parada que incluyen carga y descarga. Las instalaciones fijas soportan el coste del espacio destinado a guardar inventarios y el coste de la carga y descarga inicial y final. Las cargas distribuidas tienen un coste asociado al inventario estacionario y el otro al inventario en movimiento. Las tarifas reales de los transportistas refleja que el costo unitario de transporte es en S/. /kg disminuye con el tamaño de envío y que este es proporcional a la distancia del transporte. Los costes de inventario tienen tres componentes básicos: el precio de la mercancía en stock, el coste de mantenimiento de inventario (% del coste de mercancía) y el tiempo transcurrido como stock; finalmente se adiciona los costos administrativos y costos de financiamiento. (FRANCESC, 2005).

Las aplicaciones de software de planificación y optimización de rutas de transporte son efectivas para el mejoramiento de la utilización de los recursos de transporte, entre sus beneficios se encuentran la reducción del tiempo de trayecto de los viajes, del kilometraje en los vehículos, la disminución de costos y el mejoramiento en las entregas a los clientes, lo que a su vez se traduce en un mejor control y servicio al cliente (MORA, 2010). La investigación de operaciones, construye modelos de investigación de operaciones

que están diseñados para “optimizar” un criterio objetivo específico sujeto a un conjunto de restricciones, la calidad de la solución resultante depende de la exactitud con que el modelo representa el sistema real.

Los problemas de ruteo de vehículos consisten en que un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente con una flota de vehículos, mediante un modelo matemático se logre determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes. Las características de los clientes, depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema. Aunque el problema de ruteo de vehículos pueda tener muchas variaciones, se pueden reducir a unos tipos básicos como:

El problema del agente viajero (TSP) consiste en que un solo vehículo visite el conjunto de ciudades con el costo del viaje (o distancia) entre cada uno de los posibles pares. El TSP se dispone encontrar la mejor manera posible de visitar todas las ciudades y volver al punto de partida que reducen al mínimo el costo de viaje (o la distancia de viaje). (DAVAENDRA, 2010) La formulación de Dantzig se extiende fácilmente al caso asimétrico. Aquí x_{ij} es una variable binaria, asociado con arco (i, j) e igual a 1 si y sólo si el arco aparece en el recorrido óptimo.

El problema con ventanas de tiempo (VRPTW), además de capacidades, cada cliente $i \in V \setminus \{0\}$ tiene asociada una ventana de tiempo $[e_i, l_i]$ que establece un horario de servicio permitido para que un vehículo arribe a él y un tiempo de servicio o demora s_i . Si (i, j) es un arco de la solución y t_i y t_j son las horas de arribo a los clientes i y j , las ventanas de tiempo implican que necesariamente debe cumplirse $t_i \leq l_i$ y $t_j \leq l_j$, el problema se formula para una flota de vehículos

posiblemente heterogénea. (BELFIORE, y otros, 2012)

La heurística de ruteo son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados. Las heurísticas clásicas para el VRP son:

El algoritmo de pétalos supone que se dispone de un conjunto de rutas R , de modo que cada ruta $r \in R$ es factible, pero cada cliente es visitado por varias de las rutas. El problema de seleccionar un subconjunto de R de costo mínimo que visite exactamente una vez a cada cliente puede formularse como un Set Partitioning Problem (SPP)

Por lo que se propone es establecer un ruteo de las zonas de los clientes mediante un modelo matemático de rutas que minimice el tiempo y costo de distribución de mercancías y así poder asegurar la competitividad de la empresa a nivel regional. Para ello se debe analizar la situación actual del reparto de carga, con sus respectivos costos de reparto, mapear los clientes del sistema de reparto, determinar los costos actuales del reparto de carga, desarrollar el modelo matemático de planificación de rutas, simular los resultados de los costos en distintos panoramas de ocurrencia, con LINGO Systems. Medir el impacto del modelo matemático de planificación de rutas elegido en el costo del sistema de reparto, mediante el análisis técnico y estadístico.

El presente estudio se justifica teóricamente porque en el ámbito del modelo matemático se transforma la descripción de un objeto no matemático al lenguaje matemático para que se construya la representación numérica de dicho objeto en forma de variables involucrando así el sistema de reparto y la optimización de planificación de rutas, para tomar decisiones que ayuden a mejorar la gestión de distribución de la empresa en estudio. Así mismo de manera práctica permite

solucionar el problema del sistema de reparto, logrando reducir el tiempo de envío de mercancía lo cual repercute en el costo de distribución generando mayor grado de satisfacción en el cliente y mejorando la competitividad de la empresa a nivel regional, mediante la aplicación del modelo y el involucramiento del personal. Por otro lado metodológicamente es adecuada, pues la manera como se aborda esta investigación servirá como referencia a investigadores futuros interesados en temas similares, pues propone un método de investigación que alimenta el uso de un modelo matemático que permite optimizar la planificación de rutas del sistema de reparto así como un método para probar la hipótesis desde el diseño pre-experimental.

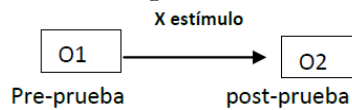
II. MATERIAL Y MÉTODOS

Es un estudio Aplicado, porque se hace uso de los conocimientos teóricos de la investigación científica, la investigación de operaciones y la cadena de suministros para dar solución a la planificación de rutas y el sistema de reparto de carga de la empresa en estudio. A su vez es un estudio experimental, porque modificará la gestión de reparto con el empleo de un modelo matemático de ruteo de vehículo, para determinar su impacto en los costos de reparto mediante la simulación de los costos antes y después de aplicar el modelo; y longitudinal, pues se procede a realizar mediciones del costo de distribución antes y después de manipular intencionalmente la variable independiente, para establecer su comportamiento al aplicar el modelo matemático.

Pre experimental. Existe un control mínimo de la variable independiente, se trabaja con un área de reparto al cual se le aplica un modelo matemático (planificación del reparto de carga a través de un modelo matemático de rutas) para determinar su efecto en la variable dependiente (costos de reparto),

aplicándose mediciones de tiempo y costo antes y después del estudio.

Diseño de la investigación: G O1 X O2



Donde:

G: Muestra de la cartera de clientes de San Isidro Labrador S.R.L.

O1: Observación actual del costo de distribución.

O2: Observación del costo de distribución con el modelo de transporte propuesto. X: Estímulo, Modelo matemático de rutas.

La población será la cartera de clientes de la empresa San Isidro Labrador S.R.L. constituida por 275 clientes que son empresas a las que le brinda el servicio de reparto de carga en La Libertad.

Para determinar la muestra se aplicó la fórmula de poblaciones finitas, calculando una muestra de 161 clientes. La **unidad de análisis** está compuesta por cada uno de los clientes que conforman la base de datos de la empresa, y el tipo de **muestreo** empleado es aleatorio por conveniencia; ya que los clientes son seleccionados dada la conveniente accesibilidad y proximidad para realizar el enrutamiento.

Calculando el tamaño de muestra:

$N = 275$ clientes

Muestra:

$$n = \frac{Z^2 x P x Q x N}{E^2(N - 1) + Z^2 x P x Q}$$

Donde:

n = Número de elementos de la muestra

N = Número de elementos del universo

P/Q = Probabilidad con las que se presenta el fenómeno, si no se conoce $P=0.5$ y $Q=0.5$

Z_2 = Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido; siempre se opera con valor σ_2 , grado de confianza de 95% luego $Z = 1.96$

E = Margen de error permitido: 0.05

$$n = \frac{1.96^2 x 0.5 x 0.5 x 275}{0.05^2(275 - 1) + 1.96^2 x 0.5 x 0.5}$$

$$n = 161$$

Muestra (n) Finalmente la fórmula arrojó el valor de: $n = 161$ Clientes

- El cuestionario de calidad del reparto de carga dirigida a los clientes con la finalidad de zonificar a clientes que reciban un mal servicio de entrega de mercancía, validada por el juicio de expertos y determinada su confiabilidad con el alfa de Conbrach con un valor de 0.7

- Mapeo enfocado en los clientes insatisfechos del sistema de reparto con la finalidad de visualizar la ubicación de los clientes y la distancia que existe entre los nodos descritos por el camión.

- Ficha de recolección de datos de los costos del área de reparto tales como: costo de combustible, mano de obra y mantenimiento incurridos durante el periodo marzo 2014 – 15 a través de facturas emitidas por proveedores, registrándolos en la ficha de registro de costos.

- Formatos de registro de toma de tiempo y hoja de ruta del vehículo para desarrollar el modelo matemático de optimización de rutas con sus restricciones y sus respectivas asignaciones a las variables de decisión (clientes, vehículo), estos datos alimentaran la función objetivo y restricciones de los distintos modelos matemáticos de rutas a probar.

- Software LINGO Systems para resolver modelos de optimización en el cual se plasmará el objetivo anterior para realizar los análisis de sensibilidad en cada posible tipo de modelo de rutas de transporte descritos en el marco teórico; a fin de obtener la ruta óptima que minimice los costos de reparto.

- Comparación de costos se calcula el % de ahorro generado en el sistema de reparto, esto se probará estadísticamente con el software SPSS Vs 22, probándose en primer lugar la normalidad del comportamiento de los datos de los costos dependiendo de los resultados se procede a emplear la pruebas estadísticas de t-student o Wilcoxon.

III. RESULTADOS

Se analizó mediante una encuesta de calidad del reparto de carga dirigida a la muestra de 161 clientes, obteniéndose los niveles de insatisfacción de 20% en puntualidad de entrega, 18% en rapidez de descarga, 27% en seguridad e higiene en el transporte, 27% en fiabilidad del estado de la carga y 19% en condiciones impuestas por el cliente; resultando que 45 clientes se encuentran insatisfechos por el servicio de reparto.

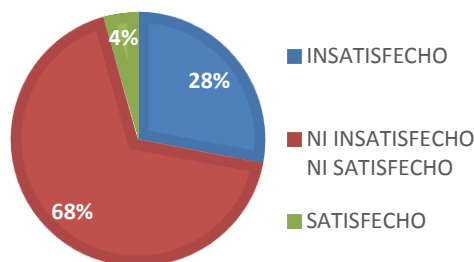


Figura 2. Nivel de satisfacción de la calidad del reparto de carga de los clientes de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015.

Fuente: Encuesta de calidad del reparto de carga realizada a los clientes de San Isidro Labrador S.R.L.

Luego de identificar los clientes insatisfechos se procedió a ubicarlos en Google MAPS y se midió la distancia entre

los nodos y se calculó el tiempo estándar del vehículo y el tiempo de desestiba con la finalidad de zonificarlos por cercanía de puntos y por la restricción del centro histórico solo ingresa vehículos de carga menor a 10 TM.

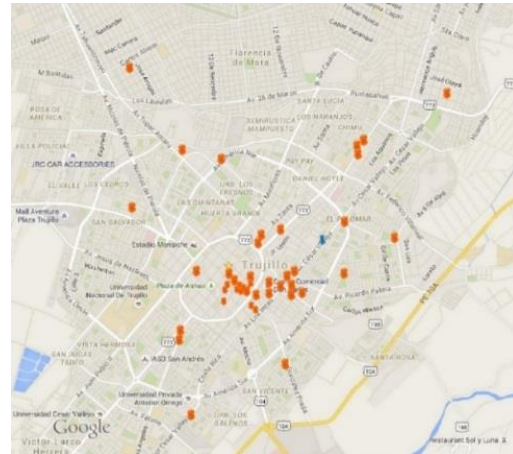


Figura 3. Mapeo de clientes de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015.

Fuente: Google Maps

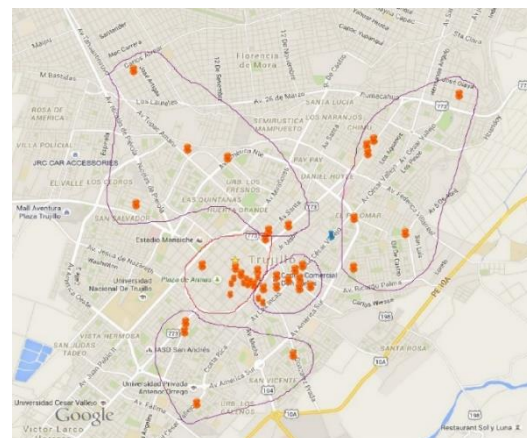


Figura 4. Zonificación de clientes y formación de clusters de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015.

Fuente: Google Maps

Los costos de distribución como mano de obra, mantenimiento y combustible en el periodo marzo 2014-15 fueron recolectados por el área de contabilidad al ser registradas en facturas. Luego se calculó el costo por horas de mano de obra, mantenimiento y combustible.

- Costo del combustible: El costo del combustible por km se obtiene al dividir el precio del combustible: S/.9.69 al

26/08/15, entre el rendimiento (km/gl.) del vehículo.

Tabla 1. Capacidad, velocidad inversa y costos del combustible por Km de los vehículos de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015.

ITEM	PUESTO	SUELDO (S/.)	GRATIFIC. (S/.)	S.S.S. (S/.)	CTS (S/.)	VACNES. (S/.)	ASIG. FAMILIAR (S/.)	TOTAL BONIF. (S/.)	TOTAL RMV+BO N (S/.)	H-H (S/.)
1	Estibador	1200	100	112.5	50	50	30	342.5	1542.5	8.03
2	Conductor	1600	133.3	150	66.7	66.7	30	446.7	2046.7	10.7

Fuente: Área de Logística de San Isidro Labrador S.R.L.

- Costo hora hombre: La empresa emplea 4 estibadores más 1 conductor del camión resultando el Costo total H-H = $4 \times 8.03 + 10.66 = S/. 42.80$, coeficiente del modelo

Tabla 2. Cálculo del costo Hora-Hombre de los trabajadores de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015

ITEM	VEHÍCULO	PLACA	PESO (TM)	VELOCIDAD (Km/Hr)	INVERSA DE VELOCIDAD (Hr/Km)	RENDIMIENTO (Km/GL)	COSTO (S./RM)
1	INTERNATIONAL	C1Q766T7B993	30	13	0.07692	54	0.18
2	FREIGHTINER	T5A899T7B992	32	12	0.08333	47	0.21
3	VOLVO	T45885T7F972	32	18	0.05556	58	0.17
4	FREIGHTINER	T6D893T71999	30	19	0.05263	56	0.17
5	VOLVO	C9C714	10	17	0.05882	51	0.19

Fuente: MINTRA - Régimen Laboral de la Micro y Pequeña Empresa.

- Costo de mantenimiento

El costo de la hora de mantenimiento se calcula: $S/. 2621.00/\text{año} * 1 \text{ año}/2304 \text{ horas} = S/. 1.14/\text{H-Mant}$.

Tabla 3. Costo del mantenimiento correctivo de San Isidro Labrador S.R.L., marzo 2014 - 2015.

FECHA	DESCRIPCIÓN	COSTO (S/.)
19/07/2014	Cambio de aceite	197.00
14/11/2014	Dirección	743.00
30/01/2015	Lubricación de rodamiento	528.00
06/05/2015	Lavado del radiador con agua a presión y cambio del líquido refrigerante	815.00
23/08/2015	Cambio de frenos	338.00
Total		2,621.00

Fuente: Área de Logística de San Isidro Labrador S.R.L.

La función objetivo y restricciones se escribieron en lenguaje de programación de Lingo a fin de optimizar el modelo matemático, las variables fueron:

Parámetros:

$i = 1, 2, 3, \dots, m$ m : número de orígenes

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ n : número de destinos

$u = 1, 2, 3, \dots, p$ p : número de vehículos

$z = 1, 2, 3, \dots, q$ q : número de viajes

Constantes:

CMO: Factor Mano de obra

CMA: Factor Mantenimiento

A: Factor de determinar la hora de salida a partir del segundo viaje

N: Factor de relación entre las variables $T_{iETOTALuz}$ y T_{uz}

M: Factor de relación entre las variables X_{ijuz} y Y_{ijuz}

R: Factor hora de inicio de recorrido

Datos:

DEMANDA $_j$ = Demanda del lugar “j”, expresada en TM.

CAPACIDAD $_u$ = Capacidad del vehículo “u”, expresada en TM

VELOCIDAD $_u$ = Velocidad a la inversa del vehículo “u”, expresada en Hrs/km

COSTO $_u$ = Costo del vehículo “u” por consumo de petróleo expresado en S./km

TEST $_j$ = Tiempo de descarga de la demanda “j” en el destino “j” expresado en Hr./TM

D $_{ij}$ = Distancia del lugar “i” al lugar “j”, expresada en km

Variables:

Tabla 4. Variables del modelo matemático para San Isidro Labrador S.R.L., en el año 2015

VARIABLE	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
Cantidad de carga a entregar	X _{ijuz}	Cantidad de carga a entregar en el lugar "j", partiendo del lugar "i" en el vehículo "u" en el viaje "z".
Entregar la carga	Y _{ijuz}	1 Si se entrega carga en el lugar "j", partiendo del lugar "i" en el vehículo "u" en el viaje "z". 0 Si no se entrega carga en el lugar "j", partiendo del lugar "i" en el vehículo "u" en el viaje "z".
Tiempo del vehículo	TIEMPO _{ijuz}	Tiempo en que se demora en ir del lugar "j", partiendo del lugar "i" en el vehículo "u" en el viaje "z".
Tiempo de desestiba	TDESC _{ijuz}	Tiempo que se utiliza en bajar la carga en el lugar "j", partiendo del lugar "i" en el vehículo "u" en el viaje "z".
Cantidad de carga entregada	CANTOTAL _{ijuz}	Cantidad de carga entregada por el vehículo "u" en el viaje "z".
Hora de salida	HSALIDA _{uz}	Hora de salida del vehículo "u" en el viaje "z".
Tiempo total de reparto	TIETOTAL _{uz}	Tiempo total utilizado por el vehículo "u" en el viaje "z".
Realizar el viaje	TS _{uz}	1 Si el vehículo "u" realiza el viaje "z", 0 Si el vehículo "u", no realiza el viaje "z".
Kilómetros del vehículo	KILOMETRAJE	Kilómetros recorridos por el vehículo "u" en el viaje "z".

Luego se traduce al lenguaje de LINGO:

Función objetivo:

Minimizar $CMO * \sum_{u=1}^p \sum_{z=1}^q TIETOTAL + CMA * \sum_{u=1}^p \sum_{z=1}^q TIETOTAL + CCOM$

Programación LINGO: $MIN = @SUM(VEHIVIA(U,Z): CMO * TIETOTAL(U,Z)) + @SUM(VEHIVIA(U,Z): CMA * TIETOTAL(U,Z)) + CCOM;$

Restricciones:

Tabla 5. Restricciones del modelo matemático para San Isidro Labrador S.R.L., en el año 2015

RESTRICCIÓN	FORMULACIÓN MATEMÁTICA	PROGRAMA LINGO
Demanda	$\sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^p \sum_{z=1}^q X_{ijuz} = Demanda_j \forall j, \text{ donde: } i=1 \wedge j \neq 1 \vee i > j \wedge j \neq 1$	$@FOR(DESTINO (j) : @SUM(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#OR\# I\#GT\#J) \#AND\# J\#NE\#1 : X(I,J,U,Z)) = DEMANDA (J));$
Cantidad de carga	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m X_{ijuz} = Cantotal_{uz} \forall uz, \text{ donde: } i=1 \vee i > j$	$@FOR(VEHIVIA (U,Z) : @SUM(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#OR\# I\#GT\#J) \#AND\# J\#NE\#1 : X(I,J,U,Z)) = CANTOTAL (U,Z));$
Capacidad	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m X_{ijuz} = Capacidad_u \forall uz, \text{ donde: } i=1 \vee i > j$	$@FOR(VEHIVIA (U,Z) : @SUM(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#OR\# I\#GT\#J) \#AND\# J\#NE\#1 : X(I,J,U,Z)) <= (CAPACIDAD (U));$
Tiempo del vehículo	$Y_{ijuz} * D_{ijuz} * Velocidad_u = Tiempo_{ijuz} \forall ijuz, \text{ donde: } i=1 \wedge j \neq 1 \vee i > j$	$@FOR(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#AND\# J\#NE\#1) \#OR\# I\#GT\#J : Y(I,J,U,Z) * D(I,J) * VELOCIDAD (U) = TIEMPO (I,J,U,Z));$
Tiempo de descarga	$TESC_j * Demanda_j * X_{ijuz} = TDESC_{ijuz} \forall ijuz, \text{ donde: } i=1 \wedge j \neq 1 \vee i > j$	$@FOR(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#OR\# I\#GT\#J) \#AND\# J\#NE\#1 : TESC(J) * DEMANDA(J) * X(I,J,U,Z) = TDESC(I,J,U,Z));$
Tiempo total	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m TDESC_{ijuz} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TIEMPO_{ijuz} = TIETOTAL_{ijuz} \forall uz, \text{ donde: } i=1 \vee i > j$	$@FOR(VEHIVIA(U,Z) : @SUM(RUTA(I,J,U,Z) (I \# EQ\#1 \#AND\# J\#NE\#1) \#OR\# I\#GT\#J : TDESC(I,J,U,Z) + @SUM(RUTA(I,J,U,Z) (I \#$

		$EQ\#1 \#AND\# J\#NE\#1) \#OR\# I\#GT\#J : TIEMPO (I,J,U,Z)) = TIETOTAL(U,Z));$
Hora de salida	$HSALIDA_{u,z-1} + TIETOTAL_{u,z-1} - A * TS_{uz} \leq HSALIDA_{uz} \forall uz, \text{ donde: } z \neq 1$	$@FOR(VEHIVIA(U,Z) @INDEX(VEHIVIA(U,Z) \#AND\# Z\#NE\#1 : HSALIDA(U,Z-1) + TIETOTAL(U,Z-1) - A * TS(U,Z)) <= HSALIDA(U,Z));$
Kilometraje	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y_{ijuz} * D_{ij}) - Kilometraje_{uz} = 0 \forall ijuz, \text{ donde: } i=1 \wedge j \neq 1 \vee i > j$	$@FOR(VEHIVIA(U,Z) @INDEX(VEHIVIA(U,Z) : @SUM(RUTA(H,K,U,Z) (H \# EQ\#1 \#AND\# K\#NE\#1) \#OR\# H\#GT\#K : - KILOMETRAJE(U,Z) + Y(I,J,U,Z) * D(I,J)) = 0);$
Costo del combustible	$\sum_{u=1}^p \sum_{z=1}^q (Costo_u * Kilometraje_{uz}) = CCOM$	$@SUM(VEHIVIA(U,Z) : COSTO(U) * KILOMETRAJE(U,Z)) = CCOM;$

Se realizó las optimizaciones por pétalos y luego se unieron los clusters con los clientes más cercanos al depósito, obteniéndose el ruteo por cada pétalo y el ruteo general.

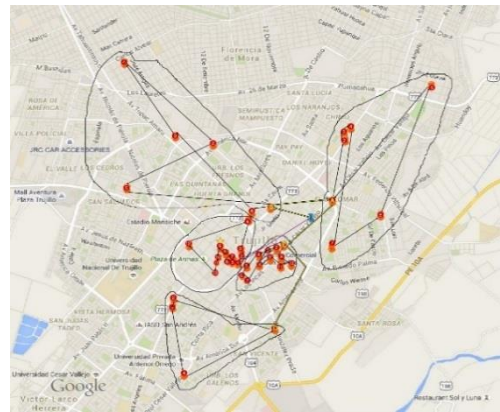


Figura 10. Ruteo de vehículos con algoritmo de pétalos de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015

Fuente: LINGO System, Google Maps.

Tabla 6. Costos optimizados por Algoritmo de pétalos de San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015

CLUSTER	RUTA	COSTO (S/)	DISTANCIA IDEAL (Km)	TIEMPO TOTAL (Hr)
1	A-2-3-4-7-6-5-A	1343.72	6.92	30.58086
2	B-6-3-4-2-5-B	483.78	18.14	11.01005
3	C-8-12-11-9-10-2-4-5-6-7-3-C	1321.72	14.40	22.894488
4	D-2-3-4-D	573.29	7.84	13.04717
5	0-9-7-8-6-5-14-1-3-2-13-11-10-12-4-0	1005.98	10.46	30.08009
6	0-B-A-C-D-0	475.29	12.6	10.81681
	Total	5203.79	70.37	118.42947

Fuente: Empresa San Isidro Labrador S.R.L., LINGO Systems

El costo real obtenido es de S/. 9241.284 en el mes de agosto y el costo optimizado es S/.5203.79; entonces el porcentaje de ahorro obtenido es:

$Ahorro(\%) = \frac{Costo_{actual} - Costo_{modelado}}{Costo_{actual}} * 100$

Ahorro(%)

$$= \frac{9241.28 \text{ S./mes} - 5203.79 \text{ S./mes}}{9241.28 \text{ S./mes}} \times 100$$

$$= 43.7\%$$

El modelo matemático de algoritmo de pétalos reduce 43.7% los costos de distribución. De la misma forma la distancia real empleada es de 139.099 km reduciendo 49.4% la distancia recorrida entre nodos modelado en el ruteo.

Para validar la hipótesis se realizó primero la prueba de normalidad de Shapiro -Wilk a la muestra de 45 clientes a la variable costos de distribución, teniendo como hipótesis:

Ho: Los costos de distribución tienen un comportamiento normal.

H1: Los costos de distribución no tienen un comportamiento normal.

Tabla 7. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la diferencia de los costos de distribución Pre modelo y Post modelo en la empresa San Isidro Labrador S.R.L.

Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,977	45	,503

Fuente: Empresa San Isidro Labrador S.R.L., LINGO Systems Estadístico SPSS

Obteniéndose $p = 0.503$ mayor a la significancia de 5% por tanto se acepta Ho: el costo de distribución tiene una distribución normal.

Luego se realizó la prueba de contrastación de hipótesis con la prueba estadística de t-student a la variable costos de distribución, teniendo como hipótesis:

Ho: El modelo matemático de rutas no minimiza los costos de reparto de carga.

H1: El modelo matemático de rutas minimiza los costos de reparto de carga.

Tabla 8. Prueba estadística t-student para contrastación de hipótesis.

Estadísticas de muestras emparejadas

Par	Media	N	Desviación estándar	Media de error
				estándar
PRE MODELO	205.3122	45	62.37835	9.29882
POST MODELO	153.0289	45	136.96854	20.41806

Prueba de muestras emparejadas

	Media	Desviación estándar	Diferencias emparejadas		Sig. (bilateral)
			Inf	Sup	
P	52.2	141.3	21.0	94.7	.017
a DELO -	833	2970	681	434	
r POST_M	3		9	8	
1 ODELO					

Fuente: Empresa San Isidro Labrador S.R.L., LINGO Systems Estadístico SPSS

Al ser $p = 0.017$ menor a la significancia 0.05 se rechaza Ho y se acepta la H1, por ende el modelo matemático de rutas minimiza los costos de reparto de carga.

IV. DISCUSIÓN

La encuesta de satisfacción aplicada a la muestra de 161 clientes determinó que 45 clientes están insatisfechos por el servicio de reparto, siendo estos los clientes elegidos para desarrollar el modelo matemático; no obstante la investigación hecha por Gonzales Daniel solo consideró como insumo de su modelo matemático la muestra de su población sin ningún otro criterio como así lo estableció la presente investigación la cual tomó en cuenta la satisfacción del cliente en base a la calidad del servicio recibido que depende de las diferentes características del servicio como puntualidad, rapidez, seguridad e higiene, fiabilidad y condiciones impuestas por el cliente (BALLOU, 2004.).

Estos métodos permiten reconocer a la proporción de clientes insatisfechos de la

muestra poblacional de los diferentes distritos siendo de menor magnitud para el modelo matemático de rutas.

El mapeo de clientes permitió ubicarlos geográficamente en Google MAPS y hallar la distancia real por carretera que realiza el origen al visitar cada uno de los destinos, esto facilitó la unión de los clientes por cercanía de puntos y permitió formar los 5 clusters para el algoritmo de pétalos; sin embargo, la investigación realizada por E. J. Manleya consideró la decisión de elegir una ruta en las zonas urbanas y la cognición humana de optar por la ruta modelada en el sistema; este análisis permitió que la elección de ruta sea óptima a partir de la decisión que toma el conductor en el momento; para lograr dicha decisión en este estudio se realizó el seguimiento de las rutas frecuentes que toma el conductor mediante una Hoja de ruta que es una adaptación de un estudio de tiempos de cronometraje continuo para un vehículo (GARCÍA, 1999); pues permitió describir la trayectoria del vehículo en la visita a los clientes y optar por la ruta frecuente; aunque es ideal que solo exista una ruta pues el conductor debe decidir entre 2 o más alternativas pero solo una es óptima y es en la que se basa el presente estudio.

Los costos del reparto que se empleó son los costos operativos de combustible, mano de obra y mantenimiento ya que se consumen en todas las actividades del reparto, pues en ellas se mostró el impacto del modelo matemático; en las investigaciones de de Cadillo José, Gonzales Daniel y E. J. Manleya fueron exceptuados dichos costos debido a que solo analizaron las distancias entre nodos para hallar la secuencia de visitar los clientes; adicional a esto las investigaciones de Pérez Cecilia y Silva Consuelo solo consideraron el costo de combustible de cada vehículo como restricción al modelo; a pesar que el costo de mano de obra representa el mayor porcentaje de los costos totales por las aportaciones de la empresa al trabajador y

de indemnizaciones si existiese, este costo es afectado por el número de personal (estibadores) contratado mensual que difiere de otros meses por temporadas según requiera la demanda; así mismo no se consideró el costo de mantenimiento a los vehículos de carga lo cual es vital para la disponibilidad de camiones ya que permite prolongar la vida útil de los vehículos y prever los repuestos para prolongar su operatividad. Razones por lo cual la presente investigación consideró incluirlos como parte de la función objetivo; ya que la empresa no solo quiere minimizar las distancias y el consumo de combustible, también quiere optimizar los costos de mano de obra y mantenimiento por cada visita al cliente a fin de obtener una mayor ganancia.

El software LINGO permitió expresar el modelo matemático en el lenguaje de modelado, pues programó a las sumatorias y las variables subindicadas de la restricción en una sola sintaxis para todos los datos ingresados en el modelo y facultó optimizar el modelo de rutas rápidamente (LINDO Systems, Inc., 2003); así mismo las investigaciones de Gonzales Daniel, Cadillo José y E. J. Manleya emplearon el software LINDO solo tiene una interfaz de programación y limita el número de variable y restricciones a emplear, pues en estos estudios solo se tomó la restricción de distancias entre nodos; obviándose las restricciones hechas en este estudio de capacidad, tiempo de visita por cliente y kilometraje de cada camión, con los cuáles se determinó el ruteo con mayor reflejo de la realidad del servicio del reparto de carga.

Se eligió el modelo matemático de algoritmo de pétalos, desarrollándolo en el software LINGO para optimizar la variable con los parámetros de origen, destino, vehículo y viaje de los 5 clusters en Trujillo para rutear cada pétalo, logrando reducir en un 49.4% los km recorridos por el vehículo, determinando el orden de repartir la carga con el menor costo teniendo el tiempo de descarga por cliente y el tiempo del vehículo en ruta; del

mismo modo Gonzales Daniel empleó el algoritmo de pétalos a con el criterio de un solo un pétalo reduciendo un 33.3% los km recorridos. este criterio no siempre es el mismo como se pudo ver en la investigación de Cadillo José quién realizó un mapeo de los 42 puntos de venta para la resolución del VRP (Vehicle Routing Problem) empleando el Modelo matemático de Cercanía de puntos con el cual logró reducir en un 14.11% los km recorridos, de igual forma la investigación realizada por E. J. Manleya empleó el desarrollo heurístico de elección de itinerarios, con el cual logró reducir la distancia media observada en un 98.03%; siendo este heurístico el que mayor reducción tuvo en distancia recorrida ya que abala las distancias por carreteras y las rutas frecuentes tomadas por decisión de los conductores.

Cabe señalar sin embargo, que los criterios usados dependen de la naturaleza del estudio, pues el método de los pétalos es apropiado para para la cantidad de clientes ya que respeta la restricción de capacidad de variables Siendo estas las características de la realidad donde se aplicó; por su parte la cercanía de puntos se emplea cuando la distancia entre nodos es menor, pese a esto no fue tomado erróneamente por Cadillo pues esto no está contemplado en su realidad ya que obvia el resto de pétalos para el impacto de toda la muestra de clientes.

Se probaron estadísticamente los datos antes y después de aplicado el modelo. Primero se realizó la prueba de normalidad con Shapiro Wilk al ser la muestra de 45 clientes; pues se considera para muestras pequeñas < 50 (MARTÍNEZ, 2012) y luego la prueba estadística de contrastación de hipótesis t-student $p = 0.017$ menor a la significancia 0.05; no obstante las investigaciones realizadas por Pérez Cecilia y Silva Consuelo solo realizaron prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov a una muestra de 11 proveedores eludiendo la prueba estadística de contrastación de hipótesis en

minimizar el costo de combustible y el costo de merma.

V. CONCLUSIONES

- La empresa tiene trayectoria en el mercado trujillano, pues percibe ingresos por la lealtad de sus clientes hecho que demostró la encuesta de satisfacción de calidad del servicio del reparto de carga, pues el 68% de clientes poseen un nivel de satisfacción medio, pero no lo excluye que alguna vez recibió un mal servicio del reparto de carga.

- Se determinó que no existe un único criterio para elegir un modelo de rutas, esto depende de la realidad específica y de la habilidad del investigador, para abstraer de la realidad las variables y restricciones que verdaderamente afectan a la gestión de distribución estudiada.

- Se consideró como variables para alimentar el modelo matemático de algoritmo de pétalos: el número de orígenes, destinos, vehículos y viajes; factores de costo. Y como restricciones: demanda, cantidad de carga, capacidad, tiempo del vehículo, tiempo de desestiba, tiempo total, hora de salida y kilometraje, lo cual fue adecuado pues se ajustó a la realidad problemática y a los objetivos empresariales.

- El modelo matemático desarrollado permitió reducir los costos de reparto un 43.7%; en costo de combustible empleado obtuvo una reducción de 33.5%; el costo de mano de obra disminuyó un 30.04%; en cuanto al costo de mantenimiento generado es de S/.172.95 para su posible uso como mantenimiento preventivo.

- Se probó la hipótesis con la prueba estadística t-student obteniéndose $p = 1.7\%$ menor el 5% de error aceptado por la prueba por ende se acepta que la aplicación de un modelo matemático de planificación de rutas minimiza los costos del reparto de la empresa San Isidro Labrador S.R.L. en el año 2015

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a) Textos

BALLOU, Ronald. *Lógica, Administración de la Cadena de Suministro.* México D.F. : PEARSON Educación, 2004. ISBN: 9702605407.

BEASLEY, J. *Omega.* EE.UU. : Elsevier Ltd., 1983. págs. 403-408. Vol. 11. 03050483.

BELFIORE, Patricia y YOSHIZAKI, Hugo. *Computers & Industrial Engineering.* EE.UU. : Elsevier Ltd., 2012. págs. 589-601. Vol. 64. 03608352.

BERNAL, César. *Metodología de la Investigación.* Bogotá : Pearson Ed., 2010. ISBN:9789586991285.

CASTELLANOS, Andrés. *Manual de gestión logística y del transporte y distribución de mercancías.* [ed.] Universidad del Norte. Ediciones Uninorte. Barranquilla : s.n., 2009. pág. 260. ISBN:9789587410013.

CHAVEZ, Rodolfo y TORRES, Jorge. *Supply Chain Management.* Segunda ed. Santiago de Chile : RIL editores, 2012. pág. 32. ISBN:978-956-284-909-8.

DAVAENDRA, Donald. *Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches.* EE.UU. : INTECH, 2010. ISBN:9789533074269.

FRANCESC, Anton. *Logística del transporte.* Madrid : Ediciones UPC, 2005. ISBN:9788483017739.

GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo.* México D.F. : Mc Graw Hill, 1999. ISBN:970-10-4657-9.

GOLDEN, B. [et al.]. *Computers & Operations Research.* EE.UU. : Elsevier Ltd., 1984. págs. 49-66. Vol. 11. 03050548.

HILLER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. *Investigación de Operaciones.* 7 ed. México D.F. : Mc Graw Hill, 2002. ISBN:9789701034.

HILLER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la Investigación de operaciones.* Quinta ed. México D.F. : McGRAW-HILL, 2010. págs. 2-3. 9786071503084.

HIMMELBLAU, David y BISCHOFF, Kenneth. *Análisis y Simulación de procesos.* Madrid : Editorial Reverte, 1992. ISBN:9788429172355.

KONG, Maynard. *Investigación de Operaciones.* 1 edición. Lima : Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010. pág. 300. ISBN:9789972429217.

MARTÍNEZ, Ciro. *Estadística y Muestreo.* Bogotá : Ecoe Ediciones, 2012. ISBN:978958648702-3.

MORA, Luis. *Gestión logística integral : las mejores prácticas en la cadena de abastecimientos.* Primera ed. Bogotá : Ecoe Ediciones, 2010. pág. 210. ISBN:9789586485722.

SUNIL, Peter. *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia,*

planeación y operación. México : PEARSON Educación, 2008. ISBN:978-970-26-1192-9.

TAHA, Hamdy. *Investigación de Operaciones*. Novena ed. México D.F. : PEARSON, 2012. pág. 11. ISBN:9786073207966.

TRIOLA, Mario. *Estadística*. México D.F. : PEARSON, 2009. ISBN:789702612872.

WEATHERFORD, Moore, SCHMIDT, Gould y EPPEN. *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*. Quinta ed. México D.F. : Prentice-Hall, 2000. pág. 68. 9701702700.

WINSTON, Wayne. *Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*. Cuarta ed. México D.F. : Thomson, 2005. págs 20-24. ISBN: 9706863621.

WREN, Anthony. *Computers in transport planning and operation*. EE.UU. : Universidad de Wisconsin - Madison, 1971. ISBN:9780711002357.

b) Informes

CADILLO, José. *Estudio comparativo de la aplicación de heurísticas al problema de ruteo de vehículos*". Trabajo de Titulación (Ingeniero Industrial) Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. 70p.

GONZALES, Daniel. *Optimización del sistema de control de verificación de supervivencia de pensionistas de renta vitalicia en una*

compañía aseguradora. Trabajo de Titulación (Ingeniero Industrial) Lima, Perú : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. 86p.

MANLEYA, E. *A heuristic model of bounded route choice in urban areas*. Trabajo de Titulación (Environment and Geomatic Engineering) Londres, Inglaterra : University College London, 2014.

PÉREZ, Jimena y PIMENTEL, Consuelo. *Optimización del transporte de materia prima de una empresa esparraguera*. Trabajo de Titulación (Ingeniero Industrial) Trujillo, Perú : Universidad Nacional de Trujillo, 2000.

The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms.

LAPORTE, GILBERT. 1991. 6128, Montreal : European Journal of Operational Research, Vol. I. H3C 3J7.

c) Lincografía

Instituto Nacional de Estadística e Información . Transportes y Comunicaciones [En línea]. Perú: INEI. *inei.gob.pe*. 06 de Junio de 2014. [Fecha de consulta: 11 de Abril de 2015.] Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/>

LINGO Systems, Inc. LINGO User's Manual. *LINGO Web site*. [En línea] 2003. [Citado el: 3 de Junio de 2015.] Disponible en: <http://www.lindo.com> .



Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Oficina de Estadística. Indicadores [En línea]. Sectoriales Perú: MTC. *mtc.gob.pe*. [En línea] Mayo de 2013. [Citado el: 11 de Abril de 2015.] Disponible en: http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/indicadores_sectoriales.htm. 2013-07609.