

# Heuristic model in the determination of the daily route of delivery of merchandise using routing of vehicles with load capacity

Wilmer Atoche, Magister<sup>1</sup>, Sandra Rodriguez, Ingeniero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe, [a20164288@pucp.pe](mailto:a20164288@pucp.pe)

**Abstract**— *This document refers to the proposed improvement in a recognized trading company that is the first national distributor of a world-wide brand of tires.*

*The study is oriented to the area of merchandise dispatch in one of its main warehouses in Lima where the definition of the route and allocation of transportation units for the daily transfer of merchandise is done empirically. This is how a vehicle routing problem is identified. In order to improve delivery times to customers, the allocation of trucks for the different routes and mainly to improve the same dispatch process, we used the method of first designing a route and then assigning it through a Heuristic routing model of vehicles and consider the requirements of customers and the capacity of transport units.*

*Initially information was collected such as location of customers, distances between them and the warehouse as well as between the same customers, orders generated by customers, the capacity of transport units and the volume that occupy the different measures of tires that are marketed.*

*Keywords-vehicle routing, carrying capacity, heuristic model*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.156>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

# Modelo heurístico en la determinación de la ruta diaria de entrega de mercadería usando ruteo de vehículos con capacidad de carga

Wilmer Atoche, Magister<sup>1</sup>, Sandra Rodriguez, Ingeniero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe, a20164288@pucp.pe

*Abstract– This document refers to the proposed improvement in a recognized trading company that is the first national distributor of a world-wide brand of tires.*

*The study is oriented to the area of merchandise dispatch in one of its main warehouses in Lima where the definition of the route and allocation of transportation units for the daily transfer of merchandise is done empirically. This is how a vehicle routing problem is identified. In order to improve delivery times to customers, the allocation of trucks for the different routes and mainly to improve the same dispatch process, we used the method of first designing a route and then assigning it through a Heuristic routing model of vehicles and consider the requirements of customers and the capacity of transport units.*

*Initially information was collected such as location of customers, distances between them and the warehouse as well as between the same customers, orders generated by customers, the capacity of transport units and the volume that occupy the different measures of tires that are marketed.*

**Keywords:** vehicle routing, carrying capacity, heuristic model

*Resumen- El presente documento refiere la propuesta de mejora en una reconocida empresa comercializadora que es el primer distribuidor a nivel nacional de una marca de neumáticos de nivel mundial. El estudio está orientado al área de despacho de mercadería en uno de sus principales almacenes en Lima en donde la definición de la ruta y asignación de unidades de transporte para el traslado de mercadería diariamente se realiza de manera empírica. Es así que se identifica un problema de ruteo de vehículos. Con la finalidad de mejorar los tiempos de entrega a los clientes, la asignación de camiones para las diferentes rutas y principalmente mejorar el proceso mismo de despacho, se utilizó el método de diseñar primero una ruta y luego asignar, a través de un modelo Heurístico de ruteo de vehículos y considerar los requerimiento de los clientes y la capacidad de las unidades de transporte.*

*Inicialmente se recopiló información como ubicación de los clientes, distancias entre estos y el almacén así como entre los mismos clientes, los pedidos que generaran los clientes, la capacidad de las unidades de transporte y el volumen que ocupan las diferentes medidas de neumáticos que se comercializan.*

**Palabras Claves:** ruteo de vehículos, capacidad de carga, modelo heurístico

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.156>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó en una empresa comercializadora de neumáticos que tiene 50 años de presencia en el mercado y 14 locales a nivel nacional. Los tipos de neumático que comercializa son de auto, camioneta, camión, agroindustria, minería; por lo que cuenta con una gran variedad de modelos, medidas y volúmenes.

Por la misma variedad de ítems los clientes son también de diferentes sectores y se encuentran a lo largo del país. La venta tiene una curva ascendente que inicia en promedio a partir del veinte de cada mes y cierra con gran afluencia de pedidos los últimos días. El despacho en estos días se vuelve crucial para cumplir con todos los compromisos de entrega de mercadería que contrae el área comercial con los clientes.

Para el estudio se consideraron los pedidos diarios de los clientes: tipo de productos, cantidades y volúmenes así como sus ubicaciones.

Esta información fue procesada para aplicar un método heurístico de establecer primero una gran ruta con un modelo matemático para luego asignar las unidades de transporte teniendo en cuenta la capacidad de éstas así como los pedidos de los clientes. Este método es viable porque la cantidad de clientes por atender diariamente es baja y sí pueden ser visitados más de una vez porque sus pedidos en ocasiones exceden la capacidad de los camiones.

De esta forma se puede llevar a cabo un proceso de despacho más organizado y con mejor uso de las unidades de transporte que reducen los reprocesos y mejoran los tiempos de entrega de mercadería.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa cuenta con un almacén en el que el personal es técnico y son ellos los encargados de preparar el despacho diariamente para la entrega de mercadería pero éste se realiza de manera empírica.

A raíz de ello la estiba de mercadería tiene reprocesos y la capacidad de las unidades de transporte no siempre es aprovechada al máximo.

El transporte con que cuenta la empresa para este punto son dos unidades que hacen despachos en dos turnos (mañana y tarde) y en dos definidas zonas: Norte y Sur dándose el caso de que algunas veces una zona puede tener pocos pedidos y por ende la unidad asignada sale con la mitad de carga mientras que la otra zona está copada y la unidad asignada tiene que volver a salir para completar las entregas. El objetivo principal es establecer un método científico para programar el despacho diariamente y así mejorar los tiempos de entrega de mercadería haciendo uso de los recursos de la empresa de manera más eficiente.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

Un problema de ruteo es básicamente establecer las rutas, de costo mínimo, necesarias para que los vehículos de transporte que visitarán a los clientes partiendo y regresando al depósito de donde salieron puedan hacer entrega de mercadería. [1][2] Para el presente estudio los clientes en general son visitados una vez pero se dan casos en que es necesario repetir la visita para completar su requerimiento pues la demanda del cliente excede la capacidad del camión. La cantidad de clientes atendidos diariamente no exceden los quince por lo que se considera viable utilizar el método Heurístico de Ruteo Primero y Asignar Después. [1]

#### B. Heurística

Un método Heurístico es cualquier principio o dispositivo que contribuya a hallar una solución en un problema (aunque no sea óptima) de manera más eficiente. Entre los métodos heurísticos se incluyen los que, partiendo de una solución abstracta del problema, la modifican en función de la experiencia y el juicio para poder aplicarla en la práctica. Así, un modelo heurístico busca las alternativas consideradas prácticas sin garantizar la obtención de la solución óptima. Este método consiste en diseñar una gran ruta óptima que pase por todos los clientes y luego dividir dicha ruta en sub-rutas que serán cubiertas por los diferentes vehículos según la capacidad de los mismos y la demanda de los clientes. Los vehículos deben empezar y terminar en el depósito o almacén.

#### C. El Problema del Agente Viajero

Para definir la ruta se empleará el modelo matemático, como problema de Programación Entera resuelto con el programa Lindo, conocido como El Problema del Agente Viajero (TSP por Traveling Salesman Problem) [7] que considera un solo vehículo que visita a todos los clientes en una sola ruta de

costo mínimo. No considera demanda o cualquier otra restricción. Su formulación en programación lineal es:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (1.1)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (1.3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} X_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (1.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (1.5)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad \forall (i,j) \in E, \quad i \neq 0, j \neq 0.$$

Donde:

$C_{ij}$  representa el costo entre dos puntos.

$X_{ij}$  son variables binarias que indican si el arco  $i,j$  es utilizado.

La función objetivo (1.1) minimiza el costo total de la suma de los arcos.

Las restricciones (1.2) y (1.3) permite que cada cliente sea visitado sólo una vez.

La restricción (1.4) evita la generación de sub-rutas. La restricción (1.5) denota 0 para la ruta  $X_{ij}$  que no se utilice y 1 para la que sí se utilice.

La última restricción determina una cantidad creciente a lo largo de toda la ruta.

### IV METODOLOGÍA

#### A. Obtención de datos

Los pedidos de los clientes se reciben diariamente y son procesados, es decir, revisados y autorizados para su atención, los cuales llegan al área de almacén. De la base de datos de la empresa se obtiene las direcciones de dichos clientes.

Con la herramienta Google Earth, que proporciona información confiable y sobre todo que es de fácil acceso se identificó las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) de estas direcciones.

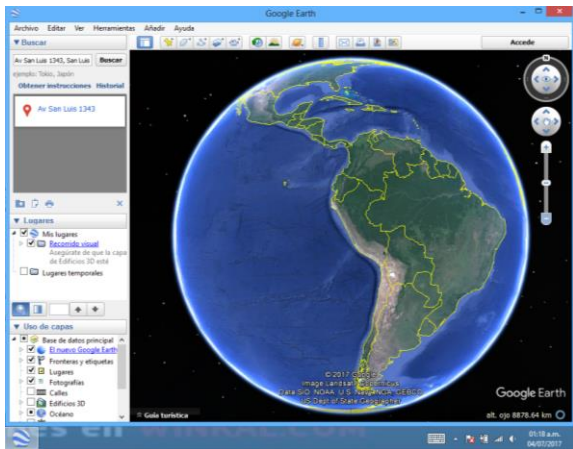


Fig. 1 Herramienta Google Earth

Fuente: US Dept of State Geographer 2017 Google

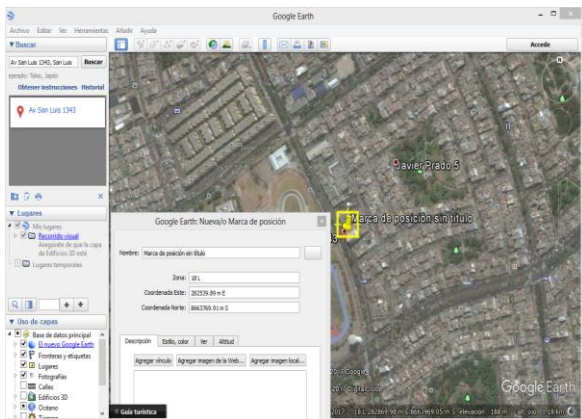


Fig. 2 Coordenadas UTM para las direcciones  
Fuente: US Dept of State Geographer 2017 Google

TABLA 1  
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN UTM

Almacén	-282579.71 -8665311.3	
Cliente	Coordenadas Absolutas UTM	
	A	-283434.93
B	-268832.18	-8677437.5
C	-276583.65	-8681311.1
D	-284799.61	-8663363.2
E	-282775.02	-8665617
F	-277204.47	-8660235.9

Fuente: Elaboración propia

Para diseñar la ruta se requiere conocer las distancias que hay entre el almacén y los clientes y entre los clientes mismos, de tal manera que se calcula las coordenadas relativas al almacén y luego se obtiene dichas distancias.

TABLA 2  
DISTANCIAS ENTRE EL ALMACÉN Y LOS CLIENTES

Almacén	-282579.71 -8665311.3									
Cliente	Coordenadas Relativas		Distancia al almacén	Distancia entre clientes en mt						
	X	Y		A	B	C	D	E	F	
A	-855.22	11867.41	11,898.19							
B	13747.53	-12126.17	18,331.36	28,087.94						
C	5996.06	-15999.82	17,086.46	28,697.08	8,665.47					
D	-2219.9	1948.15	2,953.51	10,012.70	21,284.86	19,739.09				
E	-195.31	-305.71	362.77	12,190.99	18,279.12	16,871.22	3,029.66			
F	5375.24	5075.4	7,392.76	9,216.83	19,130.85	21,084.36	8,213.76	7,745.15		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente se muestra las distancias tanto de ida como de vuelta necesarias para el modelo matemático y que además han sido ajustadas porque la ruta debe seguir por calles y respetar los sentidos de tránsito.

TABLA 3  
MATRIZ DE DISTANCIAS AJUSTADA

Cliente	Distancia al almacén	Distancia entre clientes en km ajustada					
A	16.83	39.72	40.58	14.16	17.24	13.03	
B	25.92	39.72	12.25	30.10	25.85	27.06	
C	24.16	40.58	12.25	27.92	23.86	29.82	
D	4.18	14.16	30.10	27.92	4.28	11.62	
E	0.51	17.24	25.85	23.86	4.28	10.95	
F	10.45	13.03	27.06	29.82	11.62	10.95	

Fuente: Elaboración propia

### B. Diseño de la ruta

Con el programa de programación lineal Resolviendo el modelo TSP en el programa Lindo obtenemos la ruta a seguir O-E-D-A-F-B-C-O, la cual podemos identificar en un gráfico de dispersión.

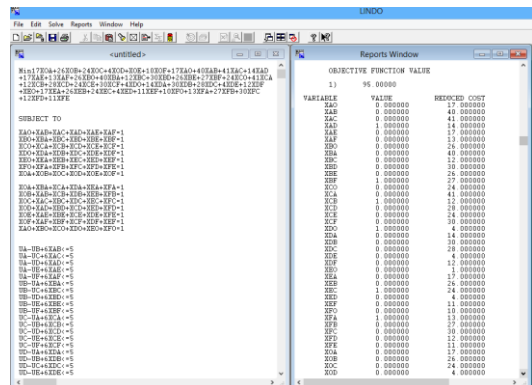


Fig. 3 Solución del programa Lindo

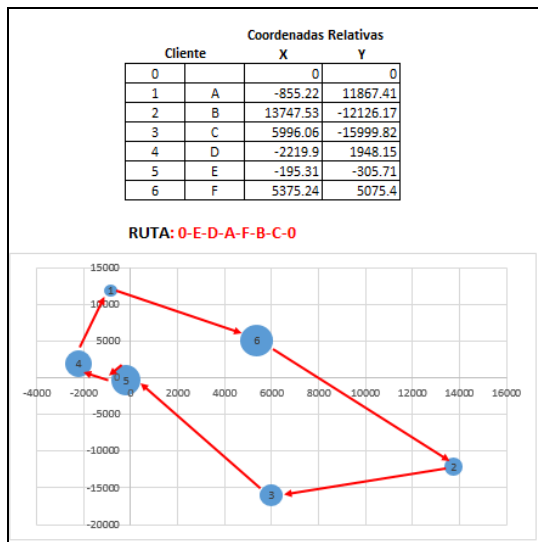


Fig. 4 Diseño de la ruta según Lindo

### b.2 Con el programa Grafos

Si bien el programa Lindo proporciona una solución óptima encontramos que demanda mayor tiempo en el ingreso de información y su formulación es más compleja (más de 40 restricciones para 6 clientes), en cambio en el programa Grafos sólo es necesario ingresar la matriz de distancias (21 datos). Ingresando la información de la matriz de distancias en el programa grafos éste también nos proporciona la ruta O-E-D-A-F-B-C-O.

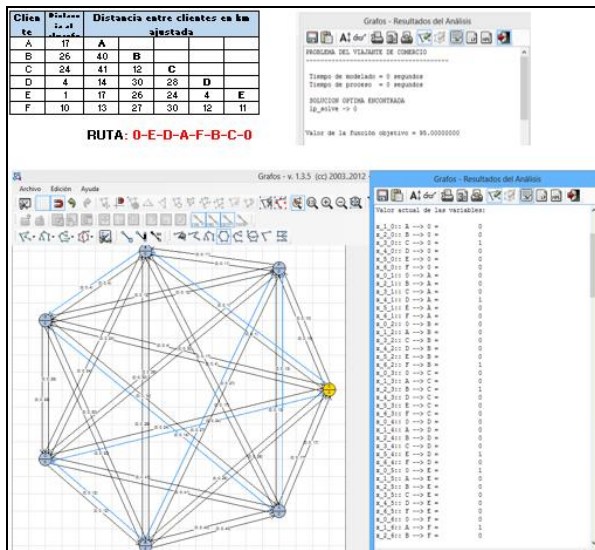


Fig. 5 - Diseño de la ruta según Grafos

### C. Asignación de unidades de transporte

Para la fase de asignación de unidades transporte necesitamos conocer la capacidad de cada unidad así como la capacidad

total de unidades con que cuenta la empresa para este punto de venta, para el caso en estudio se tiene dos unidades marca Hino cuya capacidad es:

<b>Capacidad de camión</b>	<b>29.19</b>	<b>M3</b>
<b>Capacidad Total:</b>	<b>2 und =</b>	<b>58.37 M3</b>

Así mismo teniendo la data de volumen que ocupa cada producto que se comercializa podemos elaborar la tabla de volumen a despachar por día según los pedidos de los clientes

TABLA 4  
VOLUMEN A DESPACHAR

Cliente	Codigo	Cantidad	Volumen M3	Descripción
A	120098	1	0.145	Llanta 50-16 12pr cn caminera II plus
B	OM14.00x24.5	4	0.61	Llanta 14.00-24 16pr t1612 Triangle tcf
C	106846	4	0.13	Llanta 185/65 R14 assurance 86T
D	122189	6	0.314	Llanta 12R22.5 G686 MSS plus
	122196	24	0.314	Llanta 12R22.5 MSD plus
E	120226	22	0.415	Llanta 12.00-20 tt 18 cn Chasqui
	121428	108	0.415	Llanta 12.00-20 pr Super Timber king
F	107446	4	0.13	Llanta 235/75R15 Rangler Armortrac

Fuente: Elaboración propia

Luego la tabla de volumen se ordena según la ruta diseñada, es decir, en el orden en que se van a visitar a los clientes, posteriormente asignamos las unidades de transporte según se vaya cubriendo el volumen por cliente y sin exceder la capacidad del camión. Así obtenemos por ejemplo que el cliente E tiene que ser visitado dos veces pues su pedido es de 130 und con un volumen de 53.95 m<sup>3</sup> y para el resto de clientes se asigna otra unidad.

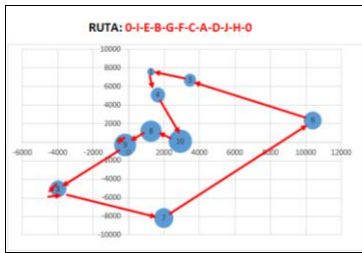
TABLA 5  
ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE

Cliente	M3	Transporte	Total M3	Und
E	53.95	1,2	53.95	130
D	9.42	3	13.05	43
A	0.15			
F	0.52			
B	2.44			
C	0.52			

**ruta: 0-E-D-A-F-B-C-0**

### V RESULTADOS

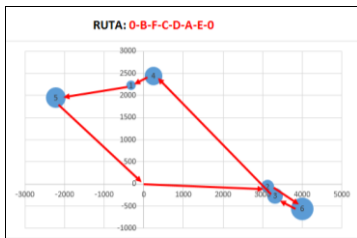
El procesamiento de información y aplicación del programa Grafos a otros días de despacho permitió obtener las rutas sin mayor problema y la asignación de camiones se hizo de manera rápida pues se cuenta con las plantillas de cálculo que sólo necesitan ingresar el pedido del cliente.



Cliente	M3	Transporte	Total M3	Und.
I	29.05	1	29.05	70
E	1.04			
B	12.56			
G	1.56			
F	0.10			
C	1.43	2	29.06	158
A	3.14			
D	0.13			
J	1.28			
H	7.82			

RUTA: O-I-E-B-G-F-C-A-D-J-H-O

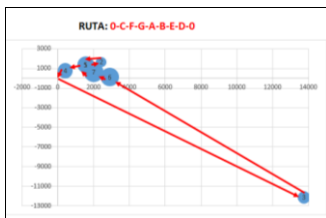
Fig. 6 – Diseño de ruta y asignación



Cliente	M3	Transporte	Total M3	Und.
C	8.50	1	25.40	77
F	0.48			
G	3.12			
A	5.16			
B	5.51			
E	1.68			
D	0.96			

RUTA: O-C-F-G-A-B-E-D-O

Fig. 7 – Diseño de ruta y asignación



Cliente	M3	Transporte	Total M3	Und.
A	0.52	1	10.33	35
B	4.21			
C	1.22			
D	0.61			
E	2.56			
F	1.22			

RUTA: O-B-F-C-D-A-E-O

Fig. 8 Diseño de ruta y asignación

El proceso de estiba de los camiones y en general del despacho mismo es más ordenado y el personal percibe que está haciendo un trabajo más profesional.

## VI CONCLUSIONES

El objetivo principal de utilizar un método científico para determinar la ruta diaria que deben seguir las unidades de transporte fue posible, es más se presentaron dos opciones computacionales, los resultados de ambos, son mejores que la asignación actual.

Se demostró que el programa Grafos es una alternativa más atractiva por efectos prácticos al momento de ingresar la información necesaria y de tiempo que es otro de los objetivos del presente estudio: reducir los tiempos de entrega de mercadería a los clientes.

El proceso de estiba de los camiones ahora es más preciso, así como la elaboración de la correspondiente documentación pues se conoce de antemano qué cantidad

de artículos y qué cantidad de unidades (neumáticos) que irán en determinada unidad de transporte.

La asignación de camiones ya no es siempre hacia dos grandes zonas fijas, ahora es según la necesidad diaria, es decir, según la llegada de los pedidos de los clientes y la ubicación de los mismos, de tal manera que las unidades de transporte son mejor aprovechadas en cuanto a capacidad y sobre todo se mejora la eficiencia de los mismos al seguir una ruta basada en distancias.

## REFERENCIAS

- [1] Olivera, A. (2004). "Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos". Montevideo, Uruguay.
- [2] P. Toth y D. Vigo, "The vehicle routing problem", SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002.
- [3] Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2005). "The logic of logistics. Theory, Algorithms, and Applications for Logistics and Supply Chain Management".
- [4] Rodriguez, A. M. V., Marti, F. A., Couso, F. G., Gonzalez, M. L., Vera, G. P., & Martin, C. V. (2014). "Teoría de grafos. Ejercicios y problemas resueltos". Ediciones Paraninfo, SA.
- [5] Reinelt, G. (1994). "The Traveling Salesman. Computational Solutions for TSP Applications". Springer Verlag, Berlin.
- [6] Villarreal, B., De León, D., Garza, L., & Alfaro, R. (2014). "Achieve Routing Leagility by Increasing Its Efficiency". Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity, 24(7), 1-11.
- [7] Hamdy A. Taha. (2012). Investigación de operaciones. Pearson Educación, México.