



Implementación de un modelo matemático que permita optimizar los costos de transporte de una empresa purificadora de agua

Implementation of a mathematical model that allows optimize the transportation costs of a water purifying company

Ely-Monserrath Pérez-García¹, Germán Domínguez-Carrillo¹, Rocio Sánchez-Escobar¹, Victoria Cárdenas-Chavero¹, Lucero-Y. Cruz-Tolentino¹

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS Álamo Temapache, Veracruz, México.

Recibido: 20-09-2021
Aceptado: 29-11-2021

Autor correspondal: ely.pg@alamo.tecnm.mx

Resumen:

El artículo que a continuación se presenta analiza los aspectos logísticos de una empresa purificadora de agua. En este proyecto se trabajará en el área de la distribución, que es el área que se desea mejorar en cuanto a tiempos y costos. No obstante, las demás áreas también son de gran ayuda para la elaboración del proyecto ya que brindarán la información necesaria para poder implementar el modelo matemático. El modelo matemático utilizado logro minimizar los costos logísticos, con esta programación se tiene un ahorro del 34.96% correspondiente a \$1,081.57 pesos semanales, por lo que es efectivo el uso de estos modelos de programación matemática.

Palabras clave: Logística, Optimización, Modelo matemático y Purificadora.

Abstract

The article that is presented below analyzes the logistics aspects of a water purification company. In this project we will work in the area of distribution, which is the area that we want to improve in terms of time and costs. However, the other areas are also of great help for the preparation of the project as they will provide the necessary information to implement the mathematical model. The mathematical model used managed to minimize the logistic costs, with this programming there is a saving of 34.96% corresponding to \$ 1,081.57 pesos per week, so the use of these mathematical programming models is effective.

Keywords: Logistics, Optimization, Methods routing and Purifying.

Introducción

El Sistema de transporte es un proceso que permite el flujo de materiales; productos terminados, materias primas e insumos, entre empresas y clientes, por lo que las organizaciones buscan optimizar su sistema a través de la aplicación de los modelos de transporte que faciliten la minimización de los costos de distribución, debido a que estos representan de un 10% al 20% de los costos totales, según (Toth,Vigo, 2000).

La función principal de los modelos de transporte es evaluar una serie de datos determinísticos de la empresa bajo estudio, tales como: Los costos de gasolina, costos de peajes, costos de mantenimiento, distancia entre el origen y el destino, número de vehículos, demanda, días de trabajo, rutas. Entre otros, logrando la mejor programación que minimice los costos, mejorando de esta manera la competitividad de las organizaciones (West A. 2010).

Con referencia a esta temática se consideró importante mencionar algunas aportaciones significativas de este tema: (Lai, Sohn, Tseng, & Bricker, 2012); (García, García, & Villada, 2012); (Arias-Rojas, Jiménez, & Montoya-Torres, 2012) y (Ismail & Irhamah., 2010) analizan y resuelven problemas de ruteo de vehículos utilizando algoritmos genéticos híbridos, evolutivos, colonias de hormigas, algoritmos genéticos y búsqueda tabú, metaheurística para el diseño de rutas y planificación de la flota; respectivamente, utilizando una demanda cambiante. (Cabañas 2012) diseñó un modelo matemático para optimizar los costos de distribución, basado en el Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Heterogénea, logrando minimizar los costos de distribución para diferentes temporadas, basada en la demanda actual creando una ventaja competitiva con respecto a la competencia local.

Esta investigación se desarrolló en una purificadora, ubicada en el norte del estado de Veracruz, dedicada a la producción y distribución de agua purificada en garrafones de 20 litros. Se utilizó el modelo de transporte “Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Heterogénea” para 12 rutas, logrando reducir los costos logísticos en un 34.96% correspondiente a \$1,081.57 pesos semanales, por lo resultó efectivo el uso de este modelo de programación matemática.

Materiales y métodos

El proceso de modelación para este proyecto consta de cuatro etapas: *Análisis de los costos de distribución, implementación del modelo matemático, aplicación del algoritmo e interpretación de los resultados*. A continuación, se presenta el modelo con la explicación de cada una de sus variables.

Modelo matemático:

Función Objetivo:

$$\text{minimizar } Z = \sum_{d=1}^D \cdot \sum_{i=1}^I \cdot \sum_{j=1}^J X_{ij} * (c_j + s_{ij}) + C_f \tag{1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=1}^I Q_t \geq W_d \quad \forall i \in I, \forall d \in D \tag{2}$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall d \in D \tag{3}$$

$$\sum_{t=1}^I Y_t \geq D_d \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall d \in D \tag{4}$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^I Y_t \leq P \quad \forall i \in I, \forall d \in D \tag{5}$$

Modelo extraído de la Tesis de Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca del año 2013. Denominado “Modelo Matemático Optimizado por un Algoritmo Genético para disminuir los costos de distribución de una fábrica de hielo”

El modelo matemático, se determinó a partir del conocimiento de las siguientes variables:

1. **I**: conjunto vehículos *i*; es la cantidad de vehículos utilizados para el reparto.
2. **J**: conjunto de rutas *j*; son las rutas que se proponen para el modelo.
3. **P**: Cantidad de viajes que se pueden realizar por semana.
4. **D_d**: conjunto de días *d*; son los días de la semana que se recorren las rutas *j*.
5. **C_j**: costos de distribución incurridos al recorrer la ruta *j*.

6. C_f : costo fijo de enviar algún vehículo.
7. Q_i : capacidad de carga del vehículo i .
8. S_{ij} : costos de desgaste del vehículo i al recorrer la ruta j .
9. W_d : demanda pronosticada para el día de la semana d .

Variables de decisión:

10. X_{ij} y Y_j son variables de decisión utilizadas para la resolución del modelo y son consideradas como variables binarias, es decir pueden tomar valor de cero o uno.

X_{ij} : 1, si el vehículo i recorre la ruta j ; 0, en otro caso. Y_j : 1, si la ruta planeada j se recorre; 0, en otro caso.

Variable probabilística:

W_d : TRIA (mínimo, más probable, máximo), demanda correspondiente a una distribución triangular. **Dónde:** La ecuación (1) representa la función objetivo y minimiza los costos totales de distribución de las rutas propuestas, considerando 5 días laborables y tres vehículos con diferente capacidad de carga para la función de los costos de recorrer la ruta: gasolina y los gastos de mantenimiento del uso de vehículo y costos fijos de operación.

La ecuación (2) asegura que la cantidad de producto sea igual o mayor a la demanda de cada punto de distribución.

La ecuación (3) determina qué vehículo recorrerá la ruta propuesta.

La ecuación (4) considera enviar un sólo vehículo por ruta en un día determinado, es decir el vehículo 1, 2 y 3 no podrán recorrer la misma ruta el mismo día.

La ecuación (5) determina la cantidad de rutas/viajes realizados por semana considerando que los tres vehículos no deben sobrepasar la cantidad de viajes por semana estipulados.

Resultados y discusión

Como primer análisis se analizaron las 12 rutas con las que se trabaja actualmente. Contemplando la distancia, la demanda, y los días de reparto. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. – Distancia y demanda de la empresa purificadora.

Colonia	Distancia	Días	Demanda
Ceas	900 metros	Martes y jueves	40 garrafones
México Lindo	600 metros	Lunes y miércoles	45 garrafones
Democracia	1.2 Kilómetros	Miércoles	35 garrafones
Vista Hermosa	950 metros	Miércoles	30 garrafones
Colindas del Sol	700 metros	Viernes	45 garrafones
Los Pinos	1.0 Kilómetros	Jueves	25 garrafones
Obrera y Ampliación Obrera	1.6 Kilómetros	Martes	25 garrafones
Ceiba Rica	17.5 Kilómetros	Sábado	50 garrafones
Santiago de la Peña	11.5 Kilómetros	Lunes y viernes	35 garrafones
Cobos Y La victoria	13.6 Kilómetros	Martes y viernes	68 garrafones

Posteriormente se realizó un análisis FODA dentro de la zona de influencia de la purificadora para determinar los puntos en los cuales se tienen que trabajar para determinar las rutas más convenientes para el reparto del agua. Así mismo para poder implementar el modelo matemático es necesario utilizar las rutas, demandas y distancias para obtener los gastos fijos y variables de la empresa purificadora de agua. Véase las tablas.

Tabla 2. – Distancia en kilometro entre la planta y puntos de venta.

De/A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0.900	0.600	1.200	0.950	0.700	1.0	1.600	17.500	11.500	13.600	12.200	7.00

Tabla 3. – Capacidad de los transportes.

Vehículo	Capacidad de carga
X1	40 unidades
X2	35 unidades

Tabla 4. – Costos fijos relacionados con el uso y desgaste.

Ranger 94		Ranger 90	
Mantenimiento	\$ 800.00	Mantenimiento	\$ 600.00
Depreciación	\$ 157.00	Depreciación	\$ 135.00
Total mensual	\$ 957.00	Total mensual	\$ 735.00

Tabla 5. – Costos fijos de distribución.

Concepto	Costo semanal
Sueldo de ventas	\$ 600.00
Sueldo de repartidores	\$ 720.00

Tabla 6. – Demanda triangular del producto.

Colonia	Mínima	Esperada	Máxima
Ceas	30	40	50
México Lindo	35	45	55
Democracia	25	35	45
Vista Hermosa	20	30	40
Colindas del Sol	35	45	55
Los Pinos	20	25	30
Obrera y Ampliación Obrera	20	25	30
Ceiba Rica	35	50	55
Santiago de la Peña	30	35	40
Cobos y La victoria	40	68	70

De acuerdo con el modelo matemático aplicado en la empresa purificadora de agua se obtuvo una cantidad de 11 viajes en total por ambas camionetas con un costo de distribución

de \$2,011.71 semanal por ambas camionetas. En la figura 6 se muestra la distribución de las rutas que arrojo el software utilizado. La variación de los días, número de viajes y de los vehículos que las deben de recorrer respectivamente. El software propuso una cantidad de 11 viajes totales; donde 6 viajes realiza el vehículo 1 y 5 viajes el vehículo 2.

Por último, el costo de distribución por cada una de las rutas recorridas con respecto al vehículo que las recorre.

Tabla 7. – Distribución de rutas.

Día 1		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	1
Vehículo 2	2	2	0	1	0	0	0	0		1

Día 2		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	# Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	0	0	0	1	0	2	1
Vehículo 2	2	2	1	0	0	0	0	0		1

Día 3		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	# Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	0	1	0	0	0	2	1
Vehículo 2	2	2	1	0	0	0	0	0		1

Día 4		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	# Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	1
Vehículo 2	2	2	0	0	0	0	0	1		1

Día 5		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	# Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
Vehículo 2	2	2	0	0	0	0	0	0		0

Día 6		Ruta	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Rut 4	Ruta 5	Ruta 6	# Viaje	
Vehículo 1	1	1	0	1	0	0	0	0	2	1
Vehículo 2	2	2	0	0	0	0	1	0		0

Tabla 8. –Distribución por recorrido.

Día	Vehículo	Ruta
Lunes	1	6
Lunes	2	2
Martes	1	5
Martes	2	1
Miércoles	1	3
Miércoles	2	1
Jueves	1	4
Jueves	2	6
Viernes	1	3
Viernes	2	2
Sábado	1	2
Sábado	2	5

En la siguiente figura se muestra el costo de distribución por cada una de las rutas recorridas con respecto al vehículo que las recorre.

Tabla 9. – Distribución de rutas de acuerdo al vehículo.

vehículo 1							
cantidad de viajes	0	1	2	1	1	1	6
costos de distribución	falso	8.28875	\$38.39	176.681	143.9625	61.075	\$648.90

vehículo 1							
cantidad de viajes	2	1	0	0	1	1	5
costos de distribución	\$27.92	9.14621	falso	FALSO	158.8552	67.393103	\$432.669322

Conclusiones

Los resultados que se obtuvieron en el software permitió programar las rutas con mayor demanda y por su distancia pueden ser recorridas en un solo viaje pues en dichas

rutas el costo de la distribución era de \$3,093.28 a la semana recorriéndolas en promedio 2 veces cada una a la semana de forma aleatoria; con la programación de las rutas se determinó que estas rutas debían ser recorridas 1 sola vez por semana, o en su defecto 2, pero con días específicos y demandas promedios según la ruta que se deba recorrer, con esta programación se tiene un ahorro del 34.96% (\$1,081.57 pesos semanales) dicho ahorro se genera en el desgaste del vehículo y del consumo de la gasolina y considerando otros gastos fijos. Con estos resultados podemos concluir que si es importante determinar los costos y demanda de cualquier producto para una distribución óptima. En cuanto a la empresa las rutas elegidas y las demandas pronosticadas son pocas y pequeñas, considerando que la empresa tiene nueve meses de operaciones y los datos no se consideran fijos; sin embargo, el resultado final es positivo para optimizar las dos rutas que generan más gastos.

Tras la finalización del proyecto se recomienda realizar un análisis costo beneficio, para establecer una nueva localización estratégica de la planta procesadora de agua y con ello, disminuir los costos de distribución en un porcentaje mayor. Esta recomendación se da con base a que la planta purificadora está ampliando su cartera de clientes los cuales se encuentran en distancias considerables. También se recomienda ampliar su flota de vehículos para poder abarcar mayor presencia en el municipio.

Referencias bibliográficas

- Arias-Rojas, J., Jiménez, J., & Montoya-Torres, J. (2012). "Solving of school bus routing problem by ant colony optimization". *EIA, ISSN 1794-1237(17)*, 193-208.
- Cabañas, G. Norma G. (2013) "Modelo Matemático Optimizado por un Algoritmo Genético para disminuir los costos de distribución de una fabrica de hielo". Tesis de Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca.
- Ismail, Z., & Irhamah. (2010). "Genetic Algorithm and Tabu Search for Vehicle Routing Problems with Stochastic Demand". *International Conference on Mathematical Science*

- Lai, M.-C., Sohn, H., Tseng, T., & Bricker, D. (2012). "A hybrid benders/genetic algorithm for vehicle routing and scheduling problem",. *International Journal of Industrial Engineering*, 19 (1), 33-46.
- Toth, P. y Vigo, (2002). The Vehicle Routing Problem, doi:10.1137/1.9780898718515, volumen 9 of SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM, Philadelphia, PA.,
- West A. (2010). Gestión de la distribución comercial. Juan bravo Madrid España, ISBN en lenguaje español:8487189814