
Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán

Methodology of calculation of minimum cost routes for the transportation sector of taxis of the city of Tulcán

(Recibido 30/08/2018) – (Aceptado 18/12/2018)
<https://doi.org/10.32645/13906925.757>

Iván Gabriel Mafla Bolaños

Magíster en Gerencia de Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. Ingeniero en Electrónica en Control de la Escuela Politécnica Nacional con beca por excelencia académica, Ecuador. Especialista en Análisis y Modelación de sistemas de Transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Certificado en Tratamiento, Modelamiento y Visualización dinámica con R del R-Users Group y la Universidad Central del Ecuador. Certificado en Bilingual Fluency de la Comisión Fulbright. Certificación en gestión de Proyectos del PMI. Certificación PANDUIT PIM –PIM Panview IQ. Certificado en sistemas inteligentes BAD, Power Neo DSC y Dahua, y sistemas Robóticos con base Arduino. Se ha desempeñado como Gerente de Proyectos de construcción de Infraestructura de Datacenter del IESS, Consejo de la Judicatura de Quito, Cuerpo de Bomberos de Quito, Ministerio del Interior, CNT EP y la Supertel. Jefe Electrónico en los proyectos de construcción de: Hangar y Zona de Pre-embarque de PETROECUADOR en Quiport del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Actualmente es Gerente de Innovación Tecnológica del Grupo Aduanor desde 2009 y es Docente de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi desde el año 2016.

Edwin Jonathan Mora Chuquer

Maestría en Gestión y Logística del Transporte Multimodal por la Universidad Central del Ecuador, Quito; Maestría en Dirección de Operaciones y Calidad por la Universidad Internacional de la Rioja, España; Certificación Internacional en Supply Chain Management (SCM) por el International Trade Center (ITC) de la OMC; Diplomado en Gestión Logística por la Universidad Técnica Particular de Loja; Ingeniero en Comercio Exterior e Integración por la Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito; Especialista de logística en la Empresa Pública Yachay; Docente Investigador - Tiempo Completo en la ECEYNCI de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi desde 2008; Docente Investigador Titular - Tiempo Completo en la Carrera de Ingeniería en Logística y Transporte de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi desde 2016; Actualmente Director de la Carrera.

Frank Alexander Tapia Rosero

Estudiante del Octavo semestre de la Carrera Ingeniería en Logística de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC).

Cómo citar este artículo:

Mafla, I., Mora, E., & Tapia, F. (Julio - diciembre de 2018). Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán. *Sathiti: sembrador*, 13(2),92-99. <https://doi.org/10.32645/13906925.757>

Título de Bachiller “Técnico Industrial Electromecánica Automotriz” de la Unidad Educativa “Vicente Fierro”. Diploma de honor del segundo Escolta del Pabellón Nacional de la Unidad Educativa “Vicente Fierro” Certificado en Orden y Seguridad Ciudadana. Certificado 1er Campamento de emprendimiento “BOOTCAMP”. Certificado II Campamento de emprendimiento e Innovación Social. Certificado en Gestión de Logística Integral. Certificado de Estrategias de Marketing, ventas y Motivación. Certificado de Ciencia, Tecnología, Innovación y Desarrollo Endógeno Territorial. Certificado del 3° Simposio Virtual De Investigación Aplicado a la Ingeniería de Procesos. Certificado de suficiencia en Inglés B1. Certificado de pasantías en la empresa Aduanor Cía. Ltda. Como: Aux. Administrativo y Aux. de bodega.

Universidad Politécnica Estatal del Carchi – Ecuador

gabriel.mafla@upec.edu.ec

jonathan.mora@upec.edu.ec

tapiaf300@gmail.com

Resumen

El presente artículo muestra una metodología de estudio del servicio de taxis en la ciudad de Tulcán con base en datos técnicos de operación de los vehículos, algoritmos matemáticos simples y software de simulación fundamentado en teoría de grafos para análisis de rutas. En el desarrollo del trabajo se utilizan variables que modelan la complejidad actual de los sistemas de circulación en las vías debida al tráfico aleatorio y creciente, los costos de mantenimiento y operación, la tecnología, y aspectos de responsabilidad social y ambiental que dificultan contar con modelos óptimos de gestión de transporte y tránsito. La optimización del modelo de gestión de los procesos ejecutados por las organizaciones que brindan el servicio se logra a través de los resultados obtenidos de la aplicación de la sistemática planteada en términos de reducción de costos operativos, manejo eficiente de los recursos y mejoramiento de la calidad del servicio a los usuarios.

Palabras Claves: *Servicio de taxis, optimización, algoritmos, simulación, teoría de grafos*

Abstract

This article shows a study methodology of the taxi service in the city of Tulcán based on technical data of vehicle operation, simple mathematical algorithms and simulation software based on graph theory for route analysis. The study deals with variables that model the current complexity of traffic circulation systems due to random and growing traffic, maintenance and operation costs, technology, and aspects of social and environmental responsibility that make it difficult to have optimal management models for transportation and transit. The management model optimization

Cómo citar este artículo:

Mafla, I., Mora, E., & Tapia, F. (Julio - diciembre de 2018). Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán. *Sathiti: sembrador*, 13(2),92-99. <https://doi.org/10.32645/13906925.757>

of the processes executed by the organizations providing the service is achieved through the results obtained from the application of the systematics proposed in terms of reduction of operating costs, efficient management of resources and improvement of quality of service.

Keywords: *Taxi service, optimization, algorithms, simulation, graph theory*

1. Introducción

En los últimos años, unas de las actividades sobre las cuales más investigaciones se han realizado, es la optimización de modelos de transporte y rutas, con el objetivo de reducir los costos de operación y hacer más eficientes los servicios que se entregan.

El servicio de taxis en la ciudad de Tulcán forma parte de del sistema de transporte público de regular de la ciudad cubriendo una demanda de movilidad insatisfecha por el servicio convencional de buses. Factores como la comodidad y optimización de tiempo de traslado hasta el destino solicitado, hacen que el servicio de taxis sea una opción adecuada para muchas personas a pesar de su costo más elevado.

Atendiendo a esta necesidad de contar con un servicio cómodo y eficiente, se hace necesario el planteamiento de mejoras en el mismo, en base a propuestas de soluciones sostenibles soportadas en estudios técnicos y de mercado realizadas por especialistas en temas de logística y transporte.

Actualmente, las compañías de taxis de la ciudad de Tulcán no cuentan con mecanismo establecido de rutas que permitan ofrecer un servicio adecuado, al tiempo de optimizar el uso de los recursos que implica todo el proceso de atención al requerimiento del servicio de los usuarios

La forma en que se realiza este proceso es factor que determina las relaciones de costo-beneficio de los transportistas y cooperativas, satisfacción de los usuarios y el buen uso que se hace de las calles y avenidas de la ciudad.

Este trabajo busca generar un modelo que mejore las condiciones de trabajo de las Cooperativas y socios mediante el uso eficiente de los instrumentos de trabajo y los recursos necesarios para brindar el servicio, garantizar la calidad del mismo para los usuarios, y contribuir al normal funcionamiento de la sociedad de la ciudad de Tulcán.

2. Materiales y métodos

El objetivo general del estudio es el de optimizar el modelo actual de funcionamiento de las Cooperativas y Compañías de taxis de la ciudad de Tulcán, mediante la reducción del tráfico de unidades de taxis que circulan sin generar trabajo útil en la ciudad y la disminución de los tiempos de circulación de las unidades, tanto en escenarios de espera de solicitud del servicio como en condiciones de operación con trabajo útil.

La gestión adecuada de cada ruta, entendida como el camino, vía o carretera involucrado en el servicio, que permite a los usuarios desplazarse entre sus lugares de origen y destino, es el factor determinante de la calidad del servicio brindado, garantizando menores tiempos, costos más bajos, y como consecuencia, un aumento de la productividad de las compañías.

Cómo citar este artículo:

Mafra, I., Mora, E., & Tapia, F. (Julio - diciembre de 2018). Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán. *Sathiti: sembrador*, 13(2),92-99. <https://doi.org/10.32645/13906925.757>

La complejidad creciente de los espacios de circulación de los vehículos, ha hecho necesario la utilización de modelos inteligentes de transporte, sustentados en mecanismos tecnológicos que permitan gestionar de manera más eficiente los procesos ligados a actividades de logística y transporte, caso particular, el servicio de taxis en la ciudad de Tulcán.

El mecanismo presentado en este trabajo se basa en la aplicación de un modelo matemático de optimización de rutas, con algoritmos de análisis de problemas de transporte, que incluye los parámetros principales que afectan a la operación del servicio de taxis.

Variables y desarrollo del modelo

La unidad de análisis fundamental para el desarrollo del modelo es el tipo de vehículo utilizado en el servicio, el cual se determinó en función de las marcas más representativas existentes en cada una de las compañías, estableciéndose los parámetros de operación necesarios para la aplicación del algoritmo. Los valores promedio de consumo para las tres marcas principales se muestran en la Tabla 1:

Marca	Consumo/ciudad	Consumo/carretera
Kia Río CVVT (1400 cc)	15,4 Km/litro (58,21 km/galón)	23,3 km/litro (88,74 km/galón)
Hyundai Accent (1600 cc)	11,86 km/litro (44,8 km/galón)	12,82 km/litro (48,4 km/galón)
Aveo Family (1500 cc)	11,44 km/litro (43,24 km/galón)	12,70 km/litro (48,01 km/galón)

Tabla 1. Consumo de combustible por marca

El modelo de vehículo utilizado para el estudio fue el de marca Hyundai, ya que sus valores de consumo se pueden asumir como un promedio entre los valores de las tres marcas, además de que es uno de los tipos de vehículos con mayor número de unidades en operación en cada compañía.

Para el costo de combustible se consideró el precio de la gasolina Extra correspondiente a 1,48 \$ por cada galón, debido a que se trata del combustible utilizado por la mayor parte de las unidades de taxis.

El tiempo en circulación para cada ruta analizada, se determinó mediante la evaluación del modelo en el Software Grafos, sobre un valor promedio de velocidad de los vehículos de 40 km/h en ciudad y de 60 km/h en carretera, que es función de su variación para distintos sectores del trayecto, debido a factores de tráfico y límites de velocidad máxima permitidos.

Las variables implicadas en el modelo, conjuntamente con su método de cálculo se detallan en la Tabla 2.

Variable	Descripción en modelo	Método de cálculo
Lugar de origen del servicio	Nodo de origen de la ruta	Ubicación de coordenadas en mapa de la ciudad en Software Rutas
Lugar de destino del servicio	Nodo de destino de la ruta	Ubicación de coordenadas en mapa de la ciudad en Software Rutas
Trayecto de servicio	Nodos intermedios de la ruta (Forman las recorridos internos de la ruta)	Ubicación de coordenadas en mapa de la ciudad en Software Rutas
Combustible	Costo por consumo de combustible por kilómetro recorrido	$C_c(\text{ciudad}) = \frac{1,48 \$}{44,8 \text{ km} \times 1 \text{ Gl}} \times d$ $C_c(\text{carretera}) = \frac{1,48 \$}{48,4 \text{ km} \times 1 \text{ Gl}} \times d$
Neumáticos	Costo por desgaste de neumáticos por kilómetro recorrido	$C_N = \frac{250 \$}{30000 \text{ km}} \times d$
Mantenimiento	Costo por mantenimiento periódico promedio de 5000 km por kilómetro recorrido	$C_M = \frac{250 \$}{30000 \text{ km}} \times d$
Impuestos	Costo adicional por impuestos no programados por kilómetro recorrido	$C_A = \frac{20\$}{5000 \text{ km}} \times d$
Tiempo	Tiempo en circulación en minutos con trámites desde que se recibe la solicitud de servicio del usuario hasta que se lo lleve a su destino	$T_t(\text{ciudad}) = \frac{d}{40 \text{ km/h}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$ $T_t(\text{carretera}) = \frac{d}{60 \text{ km/h}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$

Tabla 2. Variables y método de cálculo.

En la tabla 2, la variable d representa el número de kilómetros recorridos en cada ruta.

Una vez introducidos todos los parámetros de cálculo para el modelo, se realizó la evaluación de las rutas mediante el Software Grafos (Figura 1) utilizando el algoritmo de Dijkstra para determinar caminos mínimos, máximos y críticos del sistema cuya solución más óptima estableció los costos de operación y tiempos de circulación más bajos. El cálculo de las dos variables de análisis se realizó sujeto a dos restricciones:

- Que el costo de cada tramo o trayecto no sea menor que el mínimo de los establecidos.
- Que la distancia de cada tramo o trayecto no sea menor que la mínima establecida.



Figura 1. Simulación del modelo en el Software Grafos.

Modelo para evaluación de rendimiento del servicio

La aplicación del modelo permite tener un indicador de rendimiento, calculado de la forma presentada en la Tabla 3, para cada solicitud de servicio que se atienda, que determina la eficiencia de la operación de cada unidad en toda la ruta en términos de costo y tiempo total del servicio. Los resultados deben ser iguales o menores a los valores establecidos por el modelo para que se garantice el porcentaje de utilidad máxima posible y el tiempo de operación más óptimo, de otra manera, resultados mayores que los valores del modelo implicarán una operación ineficiente, con costos y tiempos más altos de los que se podría obtener.

VARIABLE	Método de Cálculo	INTERPRETACIÓN
Costo total	$\text{Rendimiento } C \% = \frac{C_{\text{modelo}} - C_{\text{real}}}{C_{\text{modelo}}} \times 100$	<p><i>Rendimiento C % ≥ 0</i> → OPERACIÓN EFICIENTE (COSTOS MÍNIMOS POSIBLES) UTILIDAD MÁXIMA</p> <p><i>Rendimiento C % < 0</i> → OPERACIÓN INEFICIENTE (COSTOS ALTOS)</p>
	$\text{Rendimiento } T \% = \frac{T_{\text{modelo}} - T_{\text{real}}}{T_{\text{modelo}}} \times 100$	<p><i>Rendimiento T % ≥ 0</i> → OPERACIÓN EFICIENTE (TIEMPOS MÍNIMOS POSIBLES) MAXIMIZACIÓN DE VIDA ÚTIL DEL VEHÍCULO</p> <p><i>Rendimiento C % < 0</i> → OPERACIÓN INEFICIENTE (TIEMPOS ALTOS)</p>

Tabla 3. Cálculo de indicadores de rendimiento

3. Resultados y discusión

RESULTADOS DEL MODELO

El estudio de los parámetros de análisis establecidos en función de la solución más óptima encontrada con la aplicación del modelo, determina la tabla de costos y tiempos de circulación más bajos para las rutas que tienen mayor frecuencia de operación que se muestra en la Tabla 4, la misma que sirve de herramienta de comparación para los responsables de cada compañía en la elección de la mejor ruta para cada nueva solicitud de servicio.

RUTA	KM	COSTO COMBUSTIBLE (\$)	COSTO NEUMÁTICOS (\$)	COSTO MANTENIMIENTO (\$)	COSTO IMPREVISTOS (\$)	COSTO (TOTAL) (\$)	TIEMPO TOTAL (min)	TIEMPO TOTAL (h-min-s)
Terminal-Rumichaca	10,5	0,32	0,09	0,09	0,04	0,54	15,75	0h-15min-45s
Rumichaca – Parque Ayora	8	0,24	0,07	0,07	0,03	0,41	12	0h-12min-0s
Rumichaca-Terminal	10	0,3	0,08	0,08	0,04	0,5	15	0h-15min-0s
Terminal-Parque Principal	1,5	0,05	0,01	0,01	0,01	0,08	2,25	0h-2min-15s
Terminal-Parque Ayora	2,3	0,08	0,02	0,02	0,01	0,13	3,45	0h-3min-27s
Terminal-Hospital	5,3	0,18	0,05	0,05	0,02	0,3	7,95	0h-7min-57s
Terminal-Padre Carlos	5,7	0,19	0,05	0,05	0,02	0,31	8,55	0h-8min-33s
Padre Carlos-Parque Ayora	3	0,1	0,02	0,02	0,01	0,15	4,5	0h-4min-30s
Padre Carlos-Parque Principal	3,7	0,12	0,03	0,03	0,01	0,19	5,55	0h-5min-33s
Padre Carlos – Terminal	5,3	0,18	0,05	0,05	0,02	0,3	7,95	0h7min-57s
Padre Carlos – UPEC	6	0,2	0,05	0,05	0,02	0,32	9	0h-9min-0s
Padre Carlos-Cuartel Militar	7	0,24	0,06	0,06	0,03	0,39	10,5	0h-10min-30s
Tulcán-Ibarra	126,28	3,86	1,06	1,06	0,51	6,49	126,28	2h-6min-17s
Tulcán- Quito	248,31	7,6	2,07	2,07	0,99	12,73	248,31	4h-8min-19s

Tabla 4. Resultados del modelo en tiempos y costos

4. Conclusiones

- El proyecto permitió encontrar un modelo de servicio de taxis óptimo desarrollado con algoritmos matemáticos y software de diseño y simulación de rutas, utilizando variables de análisis basadas en criterios de costos y tiempos de funcionamiento y calidad del servicio, que brinda a las cooperativas y compañías de taxis de la ciudad de Tulcán, un mecanismo versátil para gestionar la relación con los usuarios del servicio con base en la calidad del mismo.
- A través del modelo desarrollado, luego de un periodo adecuado de utilización, evaluación

Cómo citar este artículo:

Mafra, I., Mora, E., & Tapia, F. (Julio - diciembre de 2018). Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán. *Sathiti: sembrador*, 13(2),92-99. <https://doi.org/10.32645/13906925.757>

y validación, se espera mejorar en un 30 % las condiciones de trabajo de las Cooperativas y socios mediante el uso eficiente de los instrumentos de trabajo y los recursos necesarios para brindar el servicio, garantizar la calidad del mismo para los usuarios, y contribuir al normal funcionamiento de la sociedad de la ciudad de Tulcán.

- La utilización de conocimiento técnico científico, y herramientas tecnológicas de gestión y procesamiento de la información, ha empezado a generar en las personas beneficiarias del proyecto, una cultura de innovación en la manera en la que se realizan todas las actividades implicadas en el servicio de taxis, para optimizar el uso de los recursos, reducir costos y aumentar las utilidades de todas las partes interesadas, y de esta manera migrar de los procedimientos eminentemente informales que generalmente se aplican en las organizaciones

5. Recomendaciones

- Es importante que los sectores comerciales de la región, empiecen a cambiar las metodologías de gestión, de una base eminentemente manual, a mecanismos sistemáticos y automatizados, apoyados en el uso de recursos tecnológicos que permitan tener un control más real de las variables de funcionamiento de los negocios y una base de información de calidad, con la cual se puedan establecer estrategias de mejoramiento de los procesos.
- Un aspecto importante en la interpretación del comportamiento de los negocios, es la utilización de modelos matemáticos que establezcan de forma funcional las variables y las relaciones existentes, de tal manera que se puedan determinar indicadores claves de rendimiento para la evaluación continua de los procesos fundamentales de la disciplina de valor de los negocios.

6. Referencias bibliográficas:

- 1Guasch, A. (2002). *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Universidad Politécnica de Catalunya. 1ra edición. Barcelona.
- 2Restrepo, J. H., & Sánchez, J. J. (2004). *Aplicación de la teoría de grafos y el algoritmo de Dijkstra para determinar las distancias y las rutas más cortas en una ciudad*. Scientia et technica, 10(26).
- 3De Carvalho, B. M. P. S. (2008). *Algoritmo de Dijkstra*. Universidad de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Abba, A. B., De La Barra, F., Domeyko, T., Echenique, J., Feo, M., Guendelman, A., ... & Torres, J. (1975). *Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: aplicaciones en América Latina*.
- Nolasco, J., & Atoche, W. *Obtención del tiempo más corto para el problema de transporte en el sistema local de transporte público peruano 'El Metropolitano'*.
- Rodríguez-Puente, R., & Lazo-Cortés, M. S. *Búsqueda de caminos mínimos: aplicaciones actuales* Shortest path search: current applications.

Cómo citar este artículo:

Mafía, I., Mora, E., & Tapia, F. (Julio - diciembre de 2018). Metodología de cálculo de rutas de costo mínimo para el sector de transporte de taxis de la ciudad de Tulcán. *Sathiri: sembrador*, 13(2),92-99. <https://doi.org/10.32645/13906925.757>