

La gestión digital de rutas de tránsito permite seleccionar una ruta óptima de desplazamiento. Esto permite un ahorro económico importante en consumo de combustible y reduce la emisión de gases contaminantes generados por la combustión interna del motor del vehículo.



Optimización del rendimiento del combustible de vehículos a través de la gestión digital de rutas

Optimization of Vehicles Fuel Efficiency through Route's Digital Management

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo determinar en cuánto impacta el uso adecuado de aplicativos de tránsito vehicular para disminuir el consumo de combustible, debido a la relación que existe entre el rendimiento de este y el nivel de tráfico en una ruta determinada, el cual condiciona la velocidad promedio de desplazamiento. En el estudio, se ha determinado que a una mayor velocidad promedio de traslado del vehículo se tendrá un mayor rendimiento de la gasolina, diésel u otros combustibles automotrices, por ende, un menor consumo de estos.

El estudio se realizó utilizando datos del tránsito en la ciudad de Lima, que tiene la mayor densidad de tráfico en el Perú. Para este, se utilizó una metodología experimental; se estableció como variable dependiente al rendimiento del combustible, determinando que existe una relación inversa con el tiempo acumulado, que ocurre con los vehículos detenidos por el tráfico denso o la excesiva cantidad de semáforos.

Se ha logrado concluir que hay un impacto directo del nivel de tráfico sobre el mayor consumo de combustible de los vehículos. Se pudo establecer que cada minuto de demora en el tráfico representa reducir el rendimiento del combustible en 66 metros de recorrido por cada litro de combustible consumido; esto tomando como referencia un periodo en el que el nivel de tráfico en un determinado trayecto es el menor registrado.

Es importante destacar que el uso de aplicativos que permitan seleccionar y utilizar rutas con menor densidad de tráfico genera operaciones vehiculares con menor costo del consumo de combustible, teniendo un impacto muy importante sobre el menor desgaste de los motores, así como la menor emisión de gases contaminantes, cuya reducción se establece en un 13 %.

ABSTRACT

The purpose of this article is to determine the impact on the proper use of vehicular traffic applications, to reduce fuel consumption, due to the relationship between its performance and traffic level on a given route, which affects the travel average speed. In this study, it has been determined that for higher average speed in the travel of the vehicle, there will be a greater performance of gasoline, diesel or other automotive fuels, and therefore, lower consumption of these.

This study was made using traffic data in Lima city, which has the highest traffic density in Peru. For this, it was used an experimental methodology; fuel efficiency was established as a dependent variable, determining that there is an inverse relationship between this and the accumulated time, which occurs in vehicles stopped due to dense traffic or excessive traffic lights.

It has been concluded that there is a direct impact of traffic level with higher fuel consumption of vehicles. It was established that every minute of traffic delay represents the reduction of fuel efficiency by 66 meters of travel per liter of consumed fuel; this is by taking as a reference a period in which traffic level on a given route is the lowest registered.

It is important to highlight that use of applications that allow selecting and using routes with lower traffic density, generates vehicle operations with lower fuel consumption costs, which has an impact on the lower wear of engines, as well as on lower emission of pollutants gases whose reduction is set at 13 %.



Palabras clave

Congestión vehicular, consumo de combustible, rendimiento del combustible, tiempo adicional del viaje, tráfico, trayecto, velocidad promedio, viaje.

Key words

Vehicular congestion, fuel consumption, fuel efficiency, additional trip time, traffic, journey, average speed, travel.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrenta la ciudad de Lima es la congestión vehicular. Según una encuesta del observatorio Lima Cómo Vamos, el 51,3 % de ciudadanos de la capital del Perú consideran que esto es lo que más afecta su calidad de vida. Asimismo, la fundación Transitemos manifestó que en el día la población limeña pierde alrededor de una hora y media en el tráfico de la ciudad.

El nivel de tráfico vehicular sumado a los semáforos en luz roja generan que los vehículos transcurran detenidos mucho tiempo. Durante este periodo, su motor sigue en funcionamiento, es decir, a pesar de que la velocidad de desplazamiento del vehículo es de 0 km/h, hay un consumo de combustible del vehículo y, por ende, generación de gases contaminantes para el medioambiente. Transitemos (2013) indica al respecto: «A pesar de tener una baja tasa de motorización, la metrópoli presenta una velocidad de tráfico muy baja (13 - 14 km/h), generando pérdidas de horas hombre y una emisión de gases muy alta: 39,8 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del transporte terrestre, con consecuencias desastrosas para el ambiente y la salud de las personas» (p. 9).

El día a día de los conductores fomenta la búsqueda de mejores rutas para dirigirse de un lugar a otro, teniendo como objetivo principal evitar el tráfico de nuestra ciudad. Actualmente, existen aplicaciones, como Waze y Google Maps, que tienen opciones para entrega el nivel de tráfico en tiempo real, dado que estas fueron creadas justamente para evitar el tráfico excesivo. Ambas aplicaciones, utilizadas de manera complementaria, una para determinar la ruta óptima y otra para corroborar la densidad del tráfico de esta, permitirían a los conductores minimizar el tiempo del viaje recorriendo rutas con similares distancias en las que el vehículo logre mejores velocidades de desplazamiento, disminuyendo, además, su consumo de combustible.

En ese sentido, el presente artículo, que pone de manifiesto un estudio realizado en la ciudad de Lima, circulando en alrededor de cinco de sus principales distritos, ha considerado los siguientes objetivos:

- Explicar la relación existente entre el rendimiento del combustible de un vehículo y su velocidad promedio de desplazamiento.
- Determinar la relación que existe entre el rendimiento del combustible de un vehículo y el tiempo que este pasa detenido por el nivel de congestión y los semáforos en luz roja.
- Identificar el impacto que tiene el nivel de tráfico sobre el consumo de combustible de los vehículos.
- Definir el porcentaje de incremento del rendimiento del combustible de los vehículos realizando una gestión digital de rutas de tránsito.
- Especificar el porcentaje de reducción de emisión de gases contaminantes generados por la combustión interna, dentro de los motores de los vehículos con una adecuada gestión digital de rutas de tránsito.

FUNDAMENTOS

Correa, Cogollo y Salazar (2010) indican: «Un vehículo está constituido por cientos de partes que cumplen una función definida, por donde se producen pérdidas energéticas. Tomando en cuenta la termodinámica de la combustión y la fricción, solo un sexto de la energía del combustible se emplea realmente para el accionamiento del vehículo sobre la carretera o mover accesorios útiles. El resto de la energía se pierde en el motor en incapacidades de la línea de transmisión y marcha en vacío» (p.98). En el mismo artículo, citan a Komor y De Vlieger, quienes identifican como factores que influyen en el consumo de combustible a los siguientes:

- Eficiencia energética de los motores
- Forma de operación donde destaca la velocidad
- Ambiente de operación influenciado por la congestión e infraestructura vial
- Mezcla de vehículos
- Carga

Los mismos autores destacan la relación directa que existe entre el consumo de combustible y la velocidad cruceo del vehículo y que el primero se incrementa sustancialmente a medida que se aceleran los vehículos y varía poco durante la desaceleración. Asimismo, dicen que una forma de aminorar el consumo de combustible es reducir el tiempo de parada del vehículo con el motor encendido [4].

El consumo de combustible es un parámetro importante para las operaciones vehiculares, debido a que tiene una fuerte vinculación con la emisión de CO₂ y, también, porque la mayor cantidad de combustibles con los que se cuenta actualmente son aquellos que provienen del petróleo, recurso no renovable que en los últimos años ha sufrido constantes incrementos en su precio.

Se ha estudiado distintos modelos para la generación de rutas en operaciones de flota vehicular, teniendo como principal objetivo resolver el problema de localización de los vehículos e identificar la forma más eficiente para realizar un recorrido alcanzando la mayor parte de entregas de la carga transportada. No se encontraron estudios sobre el uso de aplicativos de generación de rutas para reducir el consumo de combustible.

METODOLOGÍA

El estudio se basó a una metodología experimental, estableciendo como variable dependiente al rendimiento del combustible, queriendo determinar qué tipo de relación existe entre la velocidad promedio de desplazamiento y el tiempo acumulado de los vehículos detenidos por el tráfico denso o la excesiva cantidad de semáforos. Los datos han sido obtenidos en la ciudad de Lima, que tiene la mayor densidad de tráfico en el Perú.

Para la experimentación se eligieron dos trayectos: el trayecto número 1 que tuvo como origen la zona Cruz de Surco del distrito de Santiago de Surco y como destino

la zona Nuevo Monterrey del distrito de Santa Anita, y el trayecto número 2 tuvo como origen la zona Nuevo Monterrey del distrito de Santa Anita y como destino la zona Cruz de Surco del distrito de Santiago de Surco.

Para el estudio, se trabajó con un vehículo Sedán de cilindrada 2.0 con el que se realizaron 36 viajes en el trayecto número 1 y 32 en el trayecto número 2. Antes de iniciar cada uno de los 68 viajes, se eligió la ruta utilizando las aplicaciones Google Maps y Waze.

Antes de iniciar cada viaje, se reseteaban los datos del recorrido parcial de la computadora del vehículo, registrando al final de cada trayecto el tiempo del viaje, la distancia recorrida, la velocidad promedio de desplazamiento y el rendimiento del combustible.

Todos los datos obtenidos fueron comparados con los datos registrados en un viaje denominado «ideal», realizado para ambos trayectos en un mes en el que el nivel de tráfico es el mínimo desarrollando una velocidad promedio de 30 km/h para el trayecto número 1 y 31 km/h para el trayecto número 2.

RESULTADOS

Las variables a relacionar son las siguientes:

- Velocidad promedio de tránsito
- Rendimiento del combustible
- Tiempo adicional del viaje

El tiempo adicional del viaje se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$T_{ad} = T_v - T_i$$

Donde:

T_{ad} : Tiempo adicional del viaje (min)

T_v : Tiempo del viaje (min)

T_i : Tiempo del viaje ideal (min)

El tiempo del viaje ideal fue calculado relacionando la distancia recorrida con la velocidad promedio ideal registrada para cada trayecto.

Se registraron los siguientes datos para los 2 trayectos en sus distintos recorridos:

Tabla 1
Datos extraídos en tramo 1

Viaje	Tiempo de viaje (h - min)	Distancia recorrida (km)	Velocidad promedio (km/h)	Tiempo adicional (min)	Rendimiento del combustible (km/lt)
1	00:44	18,6	25,36	6,80	8,6
2	00:43	16,9	23,58	9,20	7,8
3	00:40	17,3	25,95	5,40	8,1
4	00:45	17,0	22,67	11,00	8,0
5	00:48	17,2	21,50	13,60	7,6
6	00:38	17,0	26,84	4,00	8,4
7	00:38	16,9	26,68	4,20	8,0
8	00:52	16,9	19,50	18,20	7,0
9	00:43	17,2	24,00	8,60	7,6
10	00:41	16,9	24,73	7,20	7,9
11	00:51	16,8	19,76	17,40	7,2
12	00:48	16,8	21,00	14,40	7,7
13	00:39	17,0	26,15	5,00	8,5
14	00:41	16,9	24,73	7,20	8,3
15	00:33	16,1	29,27	0,80	8,5
16	00:41	16,1	23,56	8,80	8,5
17	00:47	16,1	20,55	14,80	8,1
18	00:55	16,7	18,22	21,60	6,9
19	01:00	17,0	17,00	26,00	6,7
20	00:49	16,3	19,96	16,40	7,2
21	00:48	16,1	20,13	15,80	7,8
22	00:47	16,1	20,55	14,80	7,8
23	00:57	15,9	16,74	25,20	7,2
24	01:01	17,9	17,61	25,20	6,4
25	00:49	15,9	19,47	17,20	7,2
26	00:55	18,1	19,75	18,80	6,9
27	00:56	16,8	18,00	22,40	7,3
28	01:02	19,4	18,77	23,20	7,2
29	00:59	18,1	18,41	22,80	7,4
30	00:52	15,9	18,35	20,20	7,1
31	01:00	18,4	18,40	23,20	7,2
32	00:58	15,9	16,45	26,20	6,9
33	00:58	15,9	16,45	26,20	6,8
34	01:07	17,1	15,31	32,80	6,6
35	00:59	18,4	18,71	22,20	7,3
36	00:52	17,7	20,42	16,60	7,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Datos extraídos en tramo 2

Viaje	Tiempo de viaje (h - min)	Distancia recorrida (km)	Velocidad promedio (km/h)	Tiempo adicional (min)	Rendimiento del combustible (km/lt)
1	00:57	19,4	20,42	19,45	8,8
2	00:46	17,0	22,17	13,10	9,9
3	00:42	16,8	24,00	9,48	9,4
4	00:38	16,8	26,53	5,48	11,0
5	00:30	15,1	30,20	0,77	13,6
6	00:43	16,6	23,16	10,87	9,1
7	00:36	16,5	27,50	4,06	12,2
8	01:02	19,6	18,97	24,06	9,7
9	00:39	17,2	26,46	5,71	12,6
10	00:34	16,9	29,82	1,29	12,0
11	01:00	19,0	19,00	23,23	8,7
12	00:34	17,2	30,35	0,71	11,4
13	01:00	18,7	18,70	23,81	9,1
14	01:04	18,7	17,53	27,81	9,1
15	00:46	18,9	24,65	9,42	8,9
16	00:44	18,7	25,50	7,81	8,8
17	01:01	18,7	18,39	24,81	8,6
18	00:38	16,5	26,05	6,06	10,8
19	00:34	17,0	30,00	1,10	11,2
20	00:35	16,6	28,46	2,87	11,9
21	00:46	16,7	21,78	13,68	9,0
22	00:35	16,9	28,97	2,29	12,0
23	00:39	17,2	26,46	5,71	12,7
24	00:52	19,0	21,92	15,23	9,6
25	00:55	19,1	20,84	18,03	8,9
26	01:03	19,1	18,19	26,03	8,8
27	00:55	18,7	20,40	18,81	9,6
28	01:01	18,7	18,39	24,81	9,1
29	00:40	16,9	25,35	7,29	12,3
30	01:03	18,4	17,52	27,39	8,6
31	01:15	20,3	16,24	35,71	8,2
32	01:06	18,9	17,18	29,42	8,6

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la relación entre la velocidad promedio y el rendimiento del combustible del vehículo:

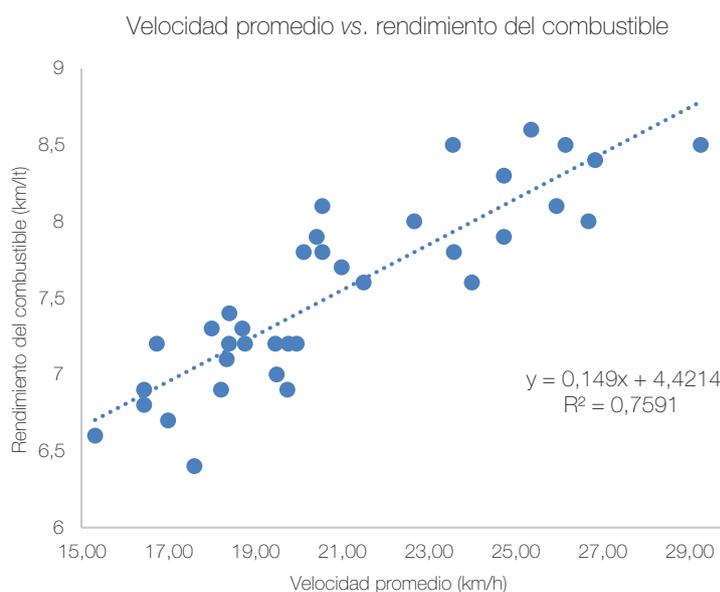


Figura 1. Relación velocidad promedio y rendimiento del combustible trayecto 1.
Fuente: Elaboración propia.

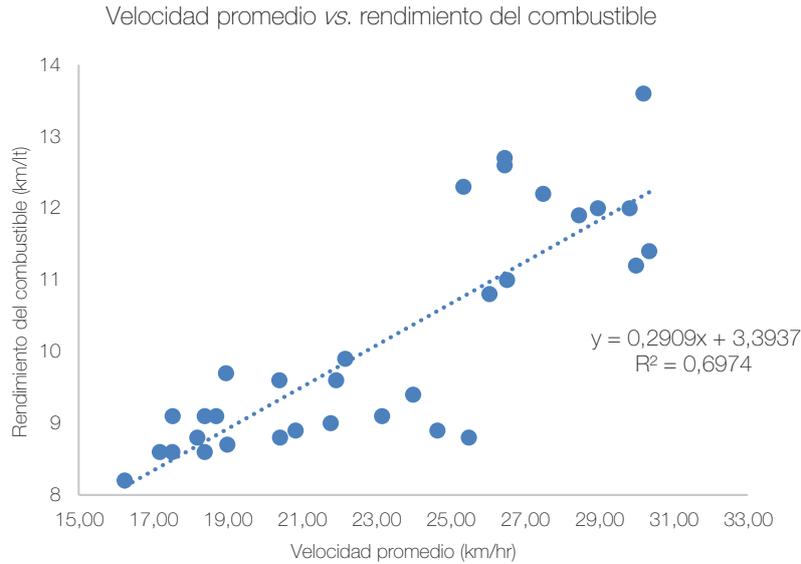


Figura 2. Relación velocidad promedio y rendimiento del combustible trayecto 2.
Fuente: Elaboración propia.

Se corroboró la relación directa entre la velocidad promedio y el rendimiento del combustible dando resultados satisfactorios a las pruebas T de Student y Fisher.

Entonces, se puede indicar que el rendimiento del combustible respecto a la velocidad promedio está dado por:

Para el trayecto 1: $R = 4,421 + 0,149V_p \pm 0,3$

Para el trayecto 2: $R = 3,394 + 0,291V_p \pm 0,874$

Donde:

R: Rendimiento del combustible del vehículo (km/lt)

V_p : Velocidad promedio del vehículo (km/h)

Analizando la relación entre el tiempo adicional que pasa el vehículo detenido en el tráfico o en semáforos con luz roja y el rendimiento del combustible del vehículo:

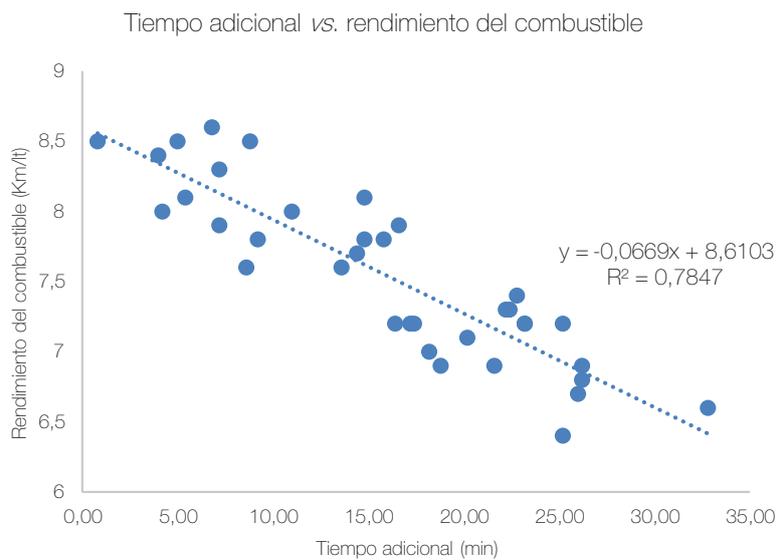


Figura 3. Relación tiempo adicional en tráfico y rendimiento del combustible trayecto 1.
Fuente: Elaboración propia.

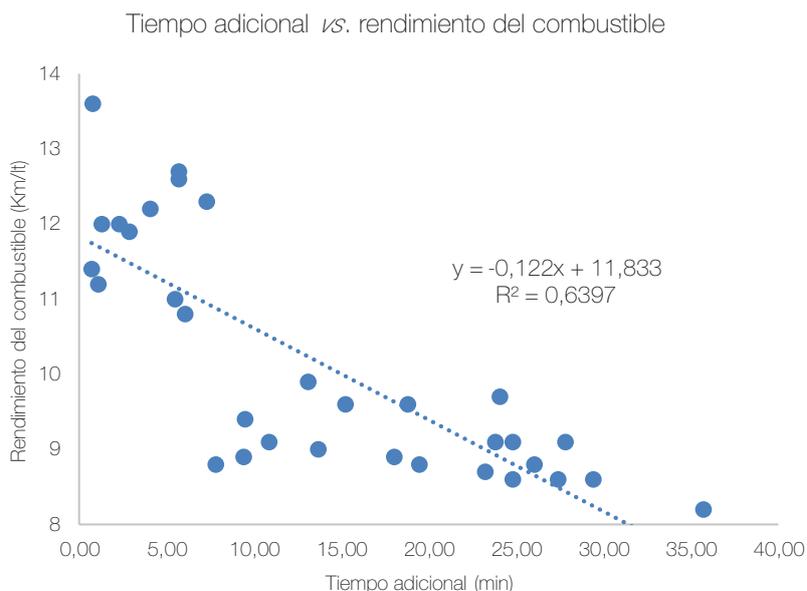


Figura 4. Relación tiempo adicional en tráfico y rendimiento del combustible trayecto 2.
Fuente: Elaboración propia.

Se corroboró la relación inversa entre el tiempo adicional que pasa el vehículo detenido en el tráfico o en semáforos con luz roja, y el rendimiento del combustible dando resultados satisfactorios a las pruebas T de Student y Fisher.

Entonces, se puede indicar que el rendimiento del combustible respecto al tiempo adicional está dado por:

Para el trayecto 1:

$$R = 8,61 - 0,067T_{ad} \pm 0,284$$

Para el trayecto 2:

$$R = 11,833 - 0,122T_{ad} \pm 0,954$$

Donde:

R: Rendimiento del combustible del vehículo (km/lt)
 T_{ad} : Tiempo adicional que pasa el vehículo detenido en el tráfico o en semáforos con luz roja (min)

Adicionalmente, se extrajo la mediana del tiempo adicional para cada uno de los trayectos, obteniendo:

Para el trayecto 1: $Me = 16,5$ minutos

Para el trayecto 2: $Me = 11,983$ minutos

Entonces, separando los datos de los viajes de cada tramo respecto a los que tienen un tiempo adicional menor a la mediana y a los que están por encima del valor de la mediana, se obtienen los datos promedio de acuerdo a la variación del tiempo adicional a la mediana, tanto para el trayecto 1 y 2 (ver tablas 3 y 4 respectivamente).

Se observa que el rendimiento promedio del combustible se incrementa en 0,956 Km/lt cuando el tiempo adicional del viaje es menor a 16,5 minutos. Asimismo, el combustible consumido se reduce en 0,333 litros.

Según uso particular, si para este trayecto se hicieran 883 viajes en el año, utilizando la combinación del Waze y Google Maps para gestionar y determinar la ruta más óptima de recorrido, se ahorrarían S/ 1089 en consumo de combustible.

Tabla 3
 Datos promedio de acuerdo a la variación del tiempo adicional respecto a la mediana en el trayecto 1

Datos analizados	Rendimiento (km/lt)	Distancia recorrida (km)	Velocidad media (km/h)	Combustible consumido (lts)
Mayores a la mediana	7,067	17,156	18,184	2,428
Menores a la mediana	8,022	16,806	23,735	2,095

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4
 Datos promedio de acuerdo a la variación del tiempo adicional respecto a la mediana en el trayecto 2

Datos analizados	Rendimiento (km/lt)	Distancia recorrida (km)	Velocidad media (km/h)	Combustible consumido (lts)
Mayores a la mediana	9,019	18,75	19,229	2,079
Menores a la mediana	11,244	16,989	27,092	1,511

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se observa que el rendimiento promedio del combustible se incrementa en 2,225 Km/lt cuando el tiempo adicional del viaje es menor a 11,983 minutos. Asimismo, el combustible consumido se reduce en 0,568 litros.

Según uso particular, si para este trayecto se hicieran 883 viajes en el año utilizando la combinación del Waze y GoogleMaps para gestionar y determinar la ruta más óptima de recorrido, se ahorrarían S/ 1 857,57 en consumo de combustible.

CONCLUSIONES

- Se ha determinado que existe una relación directa fuerte entre el rendimiento del combustible de un vehículo y la velocidad promedio a la que se desplaza en una ruta establecida.
- Se ha determinado que existe una relación inversa fuerte entre el rendimiento del combustible de un vehículo y el tiempo que este pasa detenido a causa del nivel de congestión y los semáforos en luz roja.
- El nivel de tráfico tiene un impacto directo sobre el mayor consumo de combustible de los vehículos, pues cada minuto de demora en el tráfico representa reducir el rendimiento del combustible en 66,92 metros de recorrido por cada litro de combustible consumido; esto tomando como referencia un periodo en el que el nivel de tráfico en un determinado trayecto es el menor registrado.
- La gestión digital de rutas de tránsito, antes de iniciar el recorrido de un punto a otro, incrementaría por lo menos en 13,52 % el rendimiento del combustible de los vehículos.
- La gestión digital de rutas de tránsito, antes de iniciar el recorrido de un punto a otro, permite seleccionar una ruta óptima de desplazamiento que proyecta un ahorro económico importante para los conductores por el menor consumo de combustible de sus vehículos.
- La gestión digital de rutas de tránsito, antes de iniciar el recorrido de un punto a otro, reduciría por lo menos en 13,71 % la emisión de gases contaminantes generados por la combustión interna dentro de los motores de los vehículos.

REFERENCIAS

- [1] Aceña, M. (2016). *Gestión y control de flotas y servicios de transporte por carretera*. Madrid: Publicep.
- [2] Baptista, P., Fernández, C., & Hernández, R. (2008). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Ultra.
- [3] Campos, J., De Rus, G., & Nombela, G. (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Antoni Bosch.
- [4] Correa, A., Cogollo, J., & Salazar, J. (2010). Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos. *Producción + Limpia* [en línea], (5), 95-104. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552010000100007&lng=e&nrm=iso
- [5] Fundación Transitemos (2013). *Propuesta de Hoja de Ruta para una Movilidad y Transporte Sostenible en Lima y Callao al 2025. Hacia una ciudad para las personas*. Recuperado de <https://transitemos.org/wp-content/uploads/2017/09/Hacia-Una-Ciudad-para-las-Personas-Hoja-de-Ruta-al-2025-V-Final1.pdf>
- [6] González, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería Investigación y Tecnología* [en línea], (6), 147-162. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2005.06n3.011>
- [7] Heinz, K., & Klingebiel, M. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Stuttgart: Bosch.
- [8] Morales, H. (2006). *Ingeniería vial I*. Santo Domingo: Búho.
- [9] Pedraza, L., Hernández, C., & López, D. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS. *Ingeniare* [en línea], (20), 79-88. Recuperado de https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=d&doc=73/art08.pdf&aid=306&vid=73&lang=es

- [9] Posada, J., & González, C. (2013). Consumo de combustible en vehículos para transporte por carretera –modelos predictivos–. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea], (12), 35-46. Recuperado de <https://doi.org/10.22395/riim.v12n23a3>

- [10] Rafael, M., & Cervantes, J. (2004). La selección del tren motriz basada en la eficiencia energética para vehículos de servicio pesado. *Ingeniería Investigación y Tecnología* [en línea], (5), 49-58. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2004.05n1.004>

- [11] Toro, E., Franco, J., & Gallego, R. (2016). Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. *Ingeniería Investigación y Tecnología* [en línea], (17), 357-369. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.006>

- [12] Weiers, R. (2006). *Introducción a la Estadística para Negocios*. México D.F.: Thomson.

ACERCA DEL AUTOR

Juan Carlos Latorre Boza

Magíster en Administración Estratégica de Empresas, ingeniero mecánico especialista en proyectos de inversión pública, profesional certificado en Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP) especialista en Gestión de Activos aplicada a la maquinaria pesada, vehículos pesados y vehículos ligeros. Miembro activo de la Red Confiabilidad de *Reliability Web*. Coordinador Académico de la carrera profesional de Gestión y Mantenimiento de Maquinaria Pesada y docente en el área de Gestión del Equipo Pesado de Tecsup sede Centro.

 jlatorre@tecsup.edu.pe

Recibido: 22-05-19 Revisado: 30-06-19 Aceptado: 05-07-2019



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.