



Pronóstico del recorrido mensual de una flota de camiones North Benz

Forecast of a North Benz truck fleet's monthly mileage

Buenaventura Rubén Rigol-Cardona^{1,*}, Erik Reyes-Gómez¹, Esteban López-Milán¹, Luís Miquel Plà-Aragonès²

I. Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería. Holguín, Cuba

II. Universidad de Lleida, Departamento de Matemática. Lleida, España

*Autor de correspondencia: rigol.cardona@uho.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 1 de octubre de 2020

Aceptado: 4 de diciembre de 2020

Resumen

Los camiones se convirtieron en imprescindibles para el funcionamiento de los sistemas de transporte de carga y las empresas consideraron múltiples variables en sus operaciones. Una de ellas fue la distancia recorrida, donde se observaron fluctuaciones con causas asignables en ocasiones a las empresas, y decreció en el tiempo. El objetivo del artículo fue pronosticar para una flota de 33 camiones marca North Benz en el año 2021, el posible recorrido mensual de un camión, cuya variación se atenuó con la técnica de medias móviles. Se obtuvo un modelo

matemático de la media móvil del recorrido mensual en función de la edad del camión, la desviación típica del recorrido y el error relativo del recorrido. El modelo se aplicó para pronosticar el desempeño de la flota mencionada en la empresa, y se contribuyó a facilitar la toma de decisiones en la planificación de la oferta de transportación y sus ingresos en la empresa.

Palabras claves: flota de camiones, método estadístico, recorrido mensual, pronóstico.

Abstract

Trucks became essential for the freight transportation systems' functioning and the enterprises considered several variables in their operations. One variable was the mileage, where fluctuations were observed with assignable causes to the enterprises in several occasions and it decreased over the time. This paper's objective was to forecast one North Benz truck's possible monthly mileage in a 33 truck fleet for the 2021 year. The truck's possible monthly mileage variation was attenuated using the moving average technique. It was obtained a mathematical model of the monthly mileage's

moving average according to the truck age, the mileage's typical deviation and the mileage's relative error. The model was applied to forecast the North Benz truck fleet's performance at the enterprise. It contributed to facilitate the enterprise's decision taking on the transportation offer and incomes.

Key words: truck fleet, statistical method, monthly mileage, forecast.

Cómo citar este artículo:

Rigol Cardonal BR, Reyes-Gómez E, López Milán E, et al. Pronóstico del recorrido mensual de una flota de camiones North Benz. Ingeniería Mecánica. 2020;24(1):e615. ISSN 1815-5944.

Introducción

En los últimos años la transportación como proceso ha sido de gran interés como un conjunto de criterios, usualmente velocidad, seguridad y costos, mediante los cuales se realiza su calidad desde alguna perspectiva. Por tanto, todos estos criterios se deben usar para seleccionar una ruta de tráfico.

En las rutas se efectúan los movimientos de los vehículos para transportar las cargas, dichas rutas se elaboran mediante esquemas y cronogramas de tráfico que no suelen ser estáticos [1]. El análisis de las cambiantes circunstancias de las rutas se puede anticipar con simulaciones del transporte urbano de carga. Estas simulaciones se diseñan típicamente para probar el impacto de las medidas de planeación pública u otros desarrollos, en la demanda de transporte de carga y el desempeño de la infraestructura (accesibilidad, confiabilidad) [2].

Los camiones desempeñan un papel esencial en los sistemas de transporte de carga. Las empresas de transporte terrestre por carretera perciben altas barreras de entrada y de salida, y operan en un mercado competitivo con márgenes estrechos de ganancias, donde trasciende lograr la eficiencia operativa. Para ello

aplican diferentes estrategias como son: preferir sus camiones nuevos en rutas largas y viceversa, renovar su flota de camiones, capacitar a su capital humano y la toma de decisiones con métodos de análisis fundamentados en modelos económico - matemáticos.

Las dos primeras estrategias se basan en que los vehículos nuevos permiten un recorrido promedio anual mayor que los antiguos, con mejor desempeño ambiental respecto a las emisiones [3].

La tercera estrategia responde a la reducción de los costos externos de los camiones nuevos después de 2018, la cual ocurre actualmente por tres vías [4]: tecnologías y diseños adoptados para elevar continuamente el recorrido por litro de combustible, tecnologías de seguridad que disminuirán los accidentes e irrupción de combustibles alternativos, particularmente la electricidad, en las entregas urbanas.

La última estrategia es especialmente atractiva y retadora cuando se asume, aun parcialmente, en la logística de las ciudades. En tal esfuerzo se han transformado los conceptos de servicios, originando otros donde las innovaciones en la industria camionera han tenido impresionantes desarrollos. Esto hace que la planeación y operación de la futura transportación de carga sea más compleja que antes [5] y requiere que se determinen sus típicos impactos económicos, sociales y ambientales [6].

El proceso productivo de transportar mercancías por carreteras produce un tráfico, que se expresa como el producto de las unidades de masa y de distancia, tonelada y kilómetro respectivamente. Siempre que las masas a transportar no excedan los límites de las regulaciones que existan, el transportista se ocupa de las distancias. Para esta investigación las distancias se asumieron como una variable independiente.

Se ha determinado que por la naturaleza cíclica de las estaciones del año, los datos empíricos usados en el análisis de la eficiencia económica de los sistemas de transporte debe incluir al menos un año calendario [7] pero se necesitan los datos de varios años de los vehículos en la misma empresa bajo condiciones comparables. No siempre se dispone con facilidad de la información detallada y actualizada sobre la intensidad de operación de los camiones [8], en esos casos surgen otras dificultades para los análisis a realizar.

En las empresas de carga con camiones para realizar transportaciones a distancias de cortas a largas se elabora un plan de capacidad [9], el cual depende de la estructura, diseño y posibilidades de trabajo atendiendo a la disponibilidad técnica de los camiones. La empresa donde se investigó, cuyo propietario prefirió el anonimato, realiza anualmente dicho plan y lo cumple con una flota heterogénea y grande, donde predominan los camiones chinos de la marca North Benz, los cuales constituyeron el objeto de estudio.

El recorrido de esos camiones se controla con las lecturas diarias de sus odómetros, además de receptores – registradores del sistema de posicionamiento global instalados en los camiones. El método de registrar las lecturas de los odómetros es intensivo en el uso de recursos [10] y sus fuentes potenciales de errores son: errores de calibración de los odómetros, sus manipulaciones y errores en los reportes.

El año 2020 fue atípico en la explotación de la flota referida pues aunque se cumplió el plan de transportación, se realizaron recorridos dispersos que complejizó las operaciones de la flota. Teniendo en cuenta que los modelos del proceso de crecimiento del recorrido son la principal fuente de información para pronosticar los valores y las tendencias de los indicadores de gestión de la operación de una flota de vehículos a motor [11], que dichos modelos pueden proporcionar información anticipada en el ritmo de aproximarse a un recorrido meta, el cual es apropiado para decidir la sustitución del camión, y que pueden contribuir a detectar los cambios actuales del consumo de combustible, se evidenció la necesidad de modelar de una manera más exacta el recorrido para el año 2021.

Maduekwe, Akpan e Isihak [12] presentaron el cambio en el recorrido de los vehículos con la edad mediante un ritmo de degradación y estimaron en 2 % el decrecimiento del recorrido anual de una flota de vehículos si los demás factores influyentes permanecen constantes. Otros investigadores han reportado que la declinación del recorrido podría llegar a 10 % anual [13]. Si bien las variaciones extremas en un proceso en general suelen ser contraproducentes para su estabilidad, con las medidas técnico – organizativas adecuadas se puede obtener provecho económico en esas condiciones.

Un elemento importante para que decline poco el recorrido medio anual de los camiones es la calidad de los servicios técnicos que se les realicen. En ese contexto, la disponibilidad técnica sería el resultado directo de los servicios técnicos a los camiones. Una interesante propuesta en ese sentido la realizaron Kravchenko y Kravchenko [14] quienes relacionaron el tiempo para reparar los fallos y malos funcionamientos de los camiones con 5 intervalos de recorridos, separados por 25 000 km.

Prochowski [15] desarrolló modelos polinómicos para evaluar el recorrido de más de 9 000 motores de camiones a los 20 años de operación. Se reportaron errores relativos inferiores al 11 % a la mitad del período. En el análisis se tomó como recorrido meta a la distancia recorrida al final de dicho período.

El período de 20 años se correspondió con la práctica de la empresa para los camiones rusos de la marca KAMAZ, los cuales se sustituyeron por los camiones North Benz para transportar los alimentos de la población de una ciudad. En la importancia de la carga a transportar convergieron los intereses científicos, empresariales y sociales. El resultado de gestionar la estructura de edad de la flota de la empresa se solucionó empleando algunos métodos de los que se refieren por Kunzholovich, Ospankululy y Maratovna [16] y Redmer [17].

Del análisis anterior se aprecia que la explotación de la flota de camiones North Benz requiere atención. El objetivo del artículo es pronosticar el posible recorrido mensual de un camión North Benz de la flota en la empresa

para el año 2021. Dichos pronósticos serían de utilidad en la empresa para elaborar sus planes de capacidad, los cuales contarían con un soporte estadístico que contribuya a una mayor exactitud. Los métodos estadísticos que se emplearon fueron el ajuste de distribución y la técnica de medias móviles.

Métodos y Materiales

El universo de medios de transporte en la empresa se compone de más de 70 camiones de cinco marcas diferentes. La muestra se compone de los 33 camiones de la marca North Benz. El motor de combustión interna de dichos equipos dispone de seis cilindros, opera en un ciclo de cuatro tiempos y la relación de compresión es 15,5 : 1. El motor proporciona 206 kW de potencia a la velocidad de rotación de 2200 min⁻¹; un torque de 1160 N·m en el rango de velocidades de rotación de (1100 a 1600) min⁻¹ y el consumo específico efectivo de combustible es de 197 g / (kW·h).

El modelo que se estudió es el 2528, que cumple con la norma Euro II de emisiones, en el camión se emplean neumáticos con la marcación 12,00-20,18, la fórmula de los neumáticos es 4 x 6 y se accionan con una caja mecánica de ocho marchas. En la marcha inferior se vence una pendiente máxima del 30 % a plena carga en un pavimento seco y rígido. En la última marcha se alcanza la velocidad máxima de 90 km / h.

Se recolectaron los recorridos diarios de la subflota en el período que comenzó el 1 de enero de 2012 y concluyó el 31 de diciembre de 2020. Se introdujeron los recorridos diarios de la subflota en la aplicación Calc de LibreOffice para tratar la información. Los recorridos diarios se agruparon por meses, y luego se calcularon la media aritmética y la desviación típica como medidas de tendencia central y de dispersión de los datos respectivamente.

En la figura 1 se muestra el comportamiento decreciente de la media aritmética de los recorridos mensuales de un camión (eje de las ordenadas) en función de la fecha de explotación (eje de las abscisas). Esto se corresponde con lo que se reporta en la bibliografía porque según envejecen los camiones, los recorridos se suelen acortar.

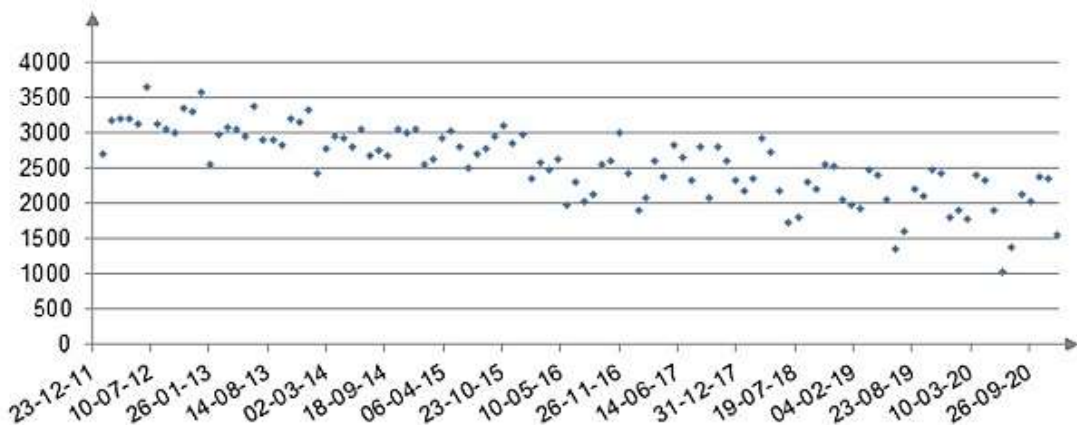


Fig. 1. Medias aritméticas de los recorridos mensuales (en kilómetros) de un camión de la subflota en función de la fecha de explotación. Fuente: autores

Con la técnica de medias móviles se atenuaron los componentes cíclicos estacionales e irregulares de la figura 1, como se muestra en la figura 2, y se obtuvo una indicación de tendencia de la información. Para elaborar la figura 2 se tomó una longitud de estacionalidad de 4 porque los datos son mensuales.

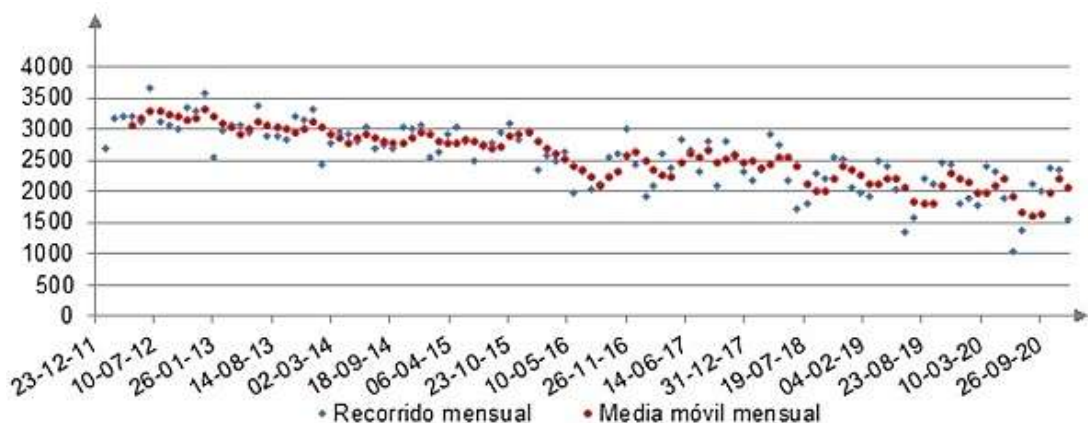


Fig. 2. Medias aritméticas y medias móviles de los recorridos mensuales (en kilómetros) de un camión de la subflota en función de la fecha de explotación. Fuente: autores

Para realizar un ajuste de distribución [18], como proceso clásico de estimación estadística, se emplearon cuatro pasos: comprobar la independencia de los datos, seleccionar la función de distribución, estimar los parámetros y comprobar la bondad de ajuste.

La independencia de la media aritmética de los recorridos mensuales se indagó con un diagrama de dispersión del recorrido en secuencia cronológica, donde la segunda secuencia de recorridos es la secuencia inicial sin el primer valor. En la figura 3 se muestra el diagrama de dispersión. Como los datos no se diseminan, no son independientes.

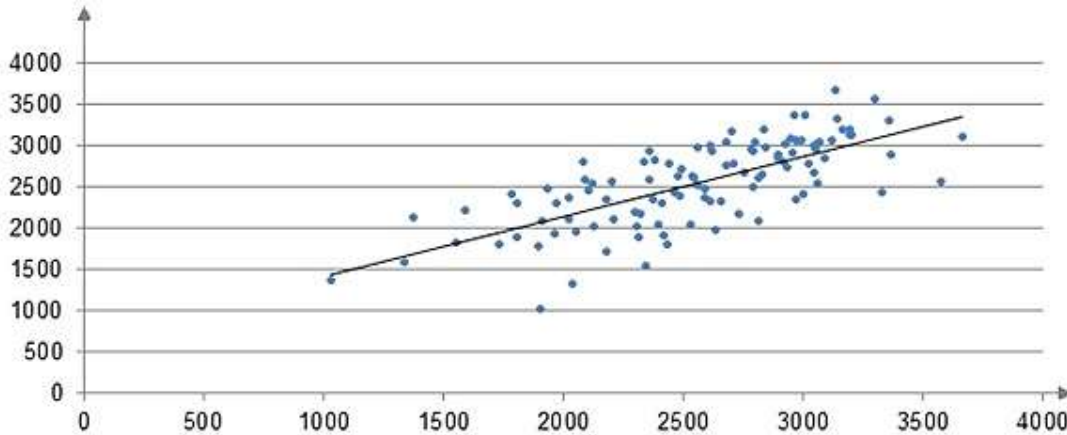


Fig. 3. Diagrama de dispersión de los recorridos mensuales (en kilómetros) de un camión de la subflota.
Fuente: autores

La función de distribución y la estimación de sus parámetros se realizó en el software STATGRAPHICS Centurion versión 15. Se determinó que la media aritmética de los recorridos mensuales se ajusta mejor a una distribución Weibull de tres parámetros (forma = 6,948; escala = 3166,600 y umbral inferior = -398,026), lo mismo que la desviación típica (forma = 9,6817; escala = 95,6968 y umbral inferior = -29,5821). La comprobación de la bondad de ajuste se realizó automáticamente por el software STATGRAPHICS, con las sugerencias de los mejores ajustes que se mencionan en el párrafo actual.

Resultados

Se realizó un análisis de regresión para describir la relación entre la variable dependiente media móvil del recorrido mensual y tres variables independientes: la fecha, la desviación típica del recorrido según la media móvil y el error relativo del recorrido. La edad de los camiones se usó en el software STATGRAPHICS con el formato de números de serie secuenciales de Calc. La ecuación 1 representa el modelo ajustado con un coeficiente de sensibilidad (R^2) de 93,7061 %, para un coeficiente de correlación (R) de 96,8019 %.

$$L_{mm} = 8408,63 - 0,173012 \cdot \text{Fecha} + 25,1188 \cdot S_{mm} + 0,519756 E_{relativo} \quad (1)$$

Donde:

L_{mm} : media móvil del recorrido mensual (km).

Fecha: números de serie secuenciales de Calc que representan la fecha.

S_{mm} : desviación típica del recorrido mensual según la media móvil (km).

$E_{relativo}$: error relativo del recorrido mensual (%).

El valor-P en la tabla de Análisis de Varianza (ANOVA) de la ecuación 1 es 0,0000. Puesto que ese valor es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables que se seleccionaron con un nivel de confianza del 95,0 %. El error estándar del estimado es 108,396 km.

El error relativo se calculó mediante la ecuación 2, y se introdujo con la intención de refinar el resultado mediante la precisión de la variable independiente.

$$E_{relativo} = 100 \frac{\bar{L} - L_{mm}}{L_{mm}} \quad (2)$$

Donde:

$E_{relativo}$: error relativo del recorrido mensual (%).

L_{mm} : media móvil del recorrido mensual (km).

\bar{L} : media aritmética del recorrido mensual (km).

Se calcularon los valores de la desviación típica del recorrido según el año de explotación de la subflota de camiones North Benz, los cuales se representan en la tabla 1.

Tabla 1. Desviación típica del recorrido según el año de explotación de la subflota de camiones North Benz. Fuente: autores

Año de explotación de la flota	Desviación típica del recorrido (km)
2012	74
2013	73
2014	69
2015	69
2016	57
2017	56
2018	55
2019	48
2020	47

Se empleó la ecuación 1 para pronosticar el posible recorrido de un camión de la flota para el año 2021. Se tomaron una desviación típica de 50 km y un error relativo de 5 %. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Posible recorrido de un camión de la flota para el año 2021 según la ecuación (1). Fuente: autores

Fecha	Código de fecha	S _{mm} (km)	E _{relativo} (%)	L _{mm} (km)	\bar{L} (km)
31-10-2020	4 4135,00	--	--	--	2 375
30-11-2020	4 4165,00	--	--	--	2 346
31-12-2020	4 4196,00	--	--	--	1 551
31-01-2021	4 4227,00	50	5	2013	1 779
28-02-2021	4 4255,00	50	5	2008	2 355
31-03-2021	4 4286,00	50	5	2003	2 324
30-04-2021	4 4316,00	50	5	1997	1 531
31-05-2021	4 4347,00	50	5	1992	1 758
30-06-2021	4 4377,00	50	5	1987	2 334
31-07-2021	4 4408,00	50	5	1981	2 303
31-08-2021	4 4439,00	50	5	1976	1 509
30-09-2021	4 4469,00	50	5	1971	1 737
31-10-2021	4 4500,00	50	5	1966	2 313
30-11-2021	4 4530,00	50	5	1960	2 282
31-12-2021	4 4561,00	50	5	1955	1 488

En la última columna de la tabla 2 se muestra la media aritmética de los recorridos mensuales \bar{L} , la cual se obtuvo como la diferencia del cuádruplo de la media móvil del recorrido mensual (L_{mm}) y la suma de las tres medias aritméticas de los recorridos mensuales precedentes. En la figura 4 se amplió la figura 2 para el año 2021 con el pronóstico de las medias aritméticas de los recorridos mensuales y las medias móviles para un camión de la subflota.

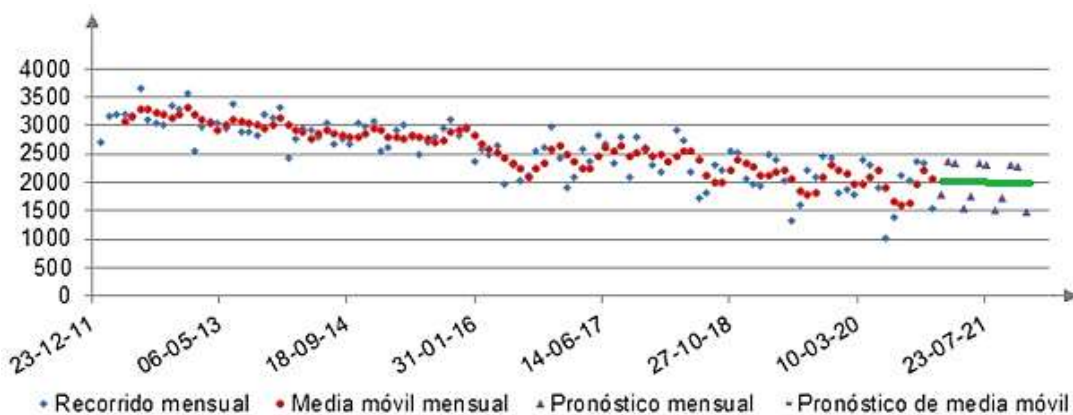


Fig. 4. Pronóstico del posible comportamiento del recorrido mensual (en kilómetros) de un camión de la subflota para el año 2021 según la ecuación (1). Fuente: autores

La novedad del trabajo se encuentra en el empleo de la desviación típica del recorrido mensual como variable independiente para estimar la media móvil del recorrido mensual. Esto se basa en que la distribución muestral de las varianzas sigue una distribución chi-cuadrada y la distribución muestral de las medias sigue una distribución normal, por lo que son independientes.

Discusión

La investigación se diferencia de otras en el mismo objeto de estudio. En [7] se formaron grupos con la capacidad de carga de los vehículos y en [8] se utilizó la cilindrada del motor con la misma intención; pero esto no se requirió en la investigación porque los camiones North Benz son del mismo modelo, se pusieron en funcionamiento en la misma fecha y en la empresa se equilibran con éxito los recorridos que se realizan con ellos. Con respecto a los modelos, en [15] se emplearon los años de operación de los camiones como variable predictora del recorrido con modelos polinómicos de tercer grado y se alcanzó un coeficiente de determinación de 99 %, el cual supera al 93,7061 % del modelo que se obtuvo.

El logro de que se cuantificara el error estándar de los resultados del modelo en 108 km permitirá planificar las operaciones con los camiones sin violar las periodicidades de los servicios técnicos a éstos, lo cual afectaría el estado técnico de los camiones, y que se pueda desarrollar el cálculo de la incertidumbre de las mediciones en futuras investigaciones.

Por si mismos los valores estadísticos, como las medias aritméticas, apenas reflejan la realidad. En contraste, cuando se determinan estadísticamente las relaciones, se incorpora una información imperfecta pero útil del proceso. Esto permite a los modelos capturar la variabilidad intrínseca, que subyace en la mayoría de los procesos de transporte, y se podría asumir a futuro la minimización de los costos del lado de la empresa.

El pronóstico para el año 2021 de la media aritmética del recorrido mensual de un camión North Benz de la subflota mantiene la tendencia decreciente que se observó inicialmente. Dichos valores de pronósticos se emplearon para planificar la oferta de transportación y los posibles ingresos de la empresa, con la estacionalidad prevista y la variabilidad que ha caracterizado a las operaciones de la empresa. Como estos planes se elaboran en la empresa sobre una plantilla en el tabulador electrónico mencionado, se agiliza la tarea de planificación del técnico de gestión de la flota.

Con respecto a los pronósticos de la media móvil del recorrido mensual, se logró suavizar su comportamiento aunque no se han determinado las causas de su variación. En ese sentido, se restringe la interpretación de los resultados del modelo matemático en la empresa porque se deben diferenciar la variación aleatoria que se podría presentar durante la explotación de los camiones, de la variación atribuible a los procesos de la empresa, por ejemplo: debido a la realización de mantenimientos imperfectos en los camiones. A la determinación de las últimas causas se dirigirá una nueva investigación.

Conclusiones

Se aportó un modelo matemático de la media móvil del recorrido mensual de un camión North Benz que incorporó la edad del vehículo, la desviación típica del recorrido mensual según la media móvil y el error relativo del recorrido mensual. Estas dos últimas variables tienen importancia para completar la magnitud que se ha medido y en el análisis puntual de los recorridos de algunas rutas respectivamente.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa que facilitó los datos para la investigación y se honra su decisión de mantener el anonimato. El ingeniero mecánico Yulier Díaz-Zaragoza intervino en la búsqueda de datos.

Referencias

- Kostiandyn D, Olena D, Lyfenko S, et al. Management of freight transport projects in cities in assessing their effectiveness. *Software Engineering*. 2018;6(2):63-68. DOI: 10.11648/j.se.20180602.15.
- de Bok M, Tavasszy L. An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (MASS-GT). *Procedia Computer Science*. 2018;130:126-133. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.021.
- Chłopek Z, Bebkiewicz K. Model of the structure of motor vehicles for the criterion of the technical level on account of pollutant emission. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2017;19(4):501-507. DOI: 10.17531/ein.2017.4.2.
- Harrison R, Matthews R, Voorhis C, et al. Megaregion (MR) Freight Mobility: Impact of Truck Technologies. Austin, USA: U. S. Department of Transportation; 2018. [Citado 17 de diciembre de 2020] Disponible en: http://www.sites.utexas.edu/cm2/files/2018/11/Year1_Harrison_Megaregion-Freight-Mobility-Impact-Truck-Technologies.pdf
- Csizsár C, Foldes D. System model for autonomous road freight transportation. *Promet – Traffic & Transportation*. 2018;30(1):93-103. DOI: 10.7307/ptt.v30i1.2566.
- Nuzzolo A, Persia L, Polimeni A. Agent-Based Simulation of urban goods distribution: a literature review. *Transportation Research Procedia*. 2018;30:33-42. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.09.005.
- Caban J, Drożdź P, Krzywono L, et al. Statistical analyses of selected maintenance parameters of vehicles of road transport companies. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2019;13(1):1-13. DOI: 10.12913/22998624/92106.
- Prochowski L. Intensity of motor trucks operation versus vehicles' age, in several categories of engine cubic capacity. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2017;24(3):221-228. DOI: 10.5604/01.3001.0010.3081.
- Ministerio del Transporte (MITRANS). Transporte Automotor. Transportación de carga por camiones. Elaboración del Plan de Capacidad. NRMT 264. La Habana. Cuba: Ministerio del Transporte; 1987.
- Williams T, Chigoy B, Borowiec J, et al. Methodologies used to estimate and forecast Vehicle Miles Traveled (VMT). Texas, USA: Transportation Policy Research Center; 2016. [Citado 17 de diciembre de 2020] Disponible en: <https://www.d2dtl5nnpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/PRC-15-40-F.pdf>

11. Prochowski L. Characteristic features of the process of growth in the mileage of hybrid vehicles". Journal of KONES Powertrain and Transport. 2018;25(4):361-368. DOI: 10.5604/01.3001.0012.4811.
12. Maduekwe M, Akpan U, Isihak S. Road transport energy consumption and vehicular emissions in Lagos, Nigeria: An application of the LEAP model. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2020;6:1-9. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100172.
13. Yang L, Hao C, Chai Y. Life Cycle Assessment of commercial delivery trucks: Diesel, Plug-In Electric, and Battery - Swap Electric. Sustainability. 2018;10(4547):1-21. DOI: 10.3390/su10124547.
14. Kravchenko A, Kravchenko K. Monitoring of the technical condition of semi-trailer trucks. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018;81(3):17-28. DOI: 10.14669/AM.VOL81.ART2.
15. Prochowski L. Evaluation of the process of mileage growth during the operation of motor trucks, in several categories of engine cubic capacity. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2018;20(3):359–370. DOI: 10.17531/ein.2018.3.3.
16. Kunzholovich B, Ospankululy A, Maratovna U. Efficiency improvement of the productivity of the motor transport enterprise due to the expense of rational age structure. Academia Journal of Educational Research. 2018;6(7):201-205. DOI: 10.15413/ajer.2017.0317.
17. Redmer A. Strategic vehicle fleet management - the replacement problem. LogForum - Scientific Journal of Logistics. 2016;12(1):17-24. DOI: 10.17270/J.LOG.2016.1.2.
18. Choi BK, Kang D. Modeling and simulation of discrete-event systems. USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2013..

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Buenaventura Rubén Rigol Cardona. <http://orcid.org/0000-0002-6482-3618>

Formalizó el primer diseño de la investigación. Realizó el procesamiento estadístico y participó en la interpretación de los resultados. Es el autor responsable de la integridad del trabajo en su conjunto y es el autor de correspondencia. Lideró la redacción y aprobación del informe final.

Erik Reyes Gómez. <http://orcid.org/0000-0002-5897-3927>

Apoyó en la revisión del estado del arte, la recolección de datos, la validación del modelo matemático en la empresa y en la redacción y aprobación del informe final.

Esteban López Milán. <http://orcid.org/0000-0002-1329-4461>

Apoyó en el diseño de la investigación, en el análisis de los resultados, en la revisión crítica del contenido del artículo y en la redacción y aprobación del informe final.

Lluís Miquel Pla-Aragonès. <http://orcid.org/0000-0001-6139-0207>

Apoyó en el diseño de la investigación, en el análisis de los resultados, en la revisión crítica del contenido del artículo, y en la redacción y aprobación del informe final.