

MÉTODO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO EN LAS ORGANIZACIONES DE TRANSPORTE TERRESTRE POR CARRETERA

BUENAVENTURA, RUBÉN RIGOL CARDONA¹ Y YASMÍN SOCORRO GARCÍA CARRILLO²

¹ Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Departamento de Ingeniería Mecánica, Holguín, Cuba. Email: rigol.cardona@facing.uho.edu.cu

² Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas, Venezuela. Email: yasgar@gmail.com

Recibido: mayo 2014

Recibido en forma final revisado: julio 2014

RESUMEN

En algunas organizaciones de transporte terrestre por carretera se aprecian problemas de estabilidad del desempeño (grandes fluctuaciones en sus variables) y bajo aprovechamiento de sus capacidades instaladas. El sistema de mantenimiento en estas presenta baja eficiencia o eficacia; manifestándose en elevados consumos de combustible, altos costos de transportaciones, bajo aprovechamiento del recorrido, incumplimientos del plan de mantenimiento, etc. El objetivo del artículo es elaborar un método de medición del sistema de mantenimiento en tales organizaciones, para aumentar la efectividad de sus operaciones. Los aportes son: definición de clases de mantenimiento con nuevos indicadores de desempeño, estimando el error estándar del Coeficiente de Disponibilidad Técnica (CDT); definición del “Mapa de ruta” para los procesos de modernización de las flotas de medios de transporte, y definición de un gráfico de control por clase de mantenimiento de las referidas flotas. El método se aplicó en cuatro flotas, con las clases de mantenimiento cuatro y cinco.

Palabras clave: sistema de mantenimiento, medios de transporte, método de medición, desempeño, Coeficiente de Disponibilidad Técnica.

MEASUREMENT METHOD OF THE MAINTENANCE SYSTEM AT GROUND TRANSPORTATION ORGANIZATIONS

ABSTRACT

In some ground transportation enterprises are presented problems of stability of the performance (big variations in their variables) and low use of the installed capabilities. Their maintenance system has low efficiency or efficacy. It can be seen in: high fuel consumptions, high transportation costs, low use of the route, and so on. The objective of the paper is to elaborate a measurement method of the maintenance system of such enterprises, to increase the effectiveness of their operations. The contributions were: the definition of maintenance classes with new performance indicators, estimating the standard error of the Coefficient of Technical Availability (CTA); the definition of the “Route Map” for the modernization process of the transportation fleet, and the definition of a control graph for each maintenance class of the fleets. The method was applied to four fleets, and were observed both four and five maintenance classes.

Keywords: maintenance system, transportation means, measurement method, performance, Coefficient of Technical Availability.

INTRODUCCIÓN

El transporte se encarga de movilizar personas y objetos, y no se concibe la sociedad sin su existencia. El incremento de la complejidad de las operaciones a realizar con los medios de transporte ha excedido el clásico campo de actuación del ingeniero mecánico, originando situaciones donde se aplican creativamente los más disímiles principios, métodos y técnicas, para satisfacer las crecientes necesidades sociales (Grote et al. 2008) (Kobbacy et al. 2008) (Smith, 2009).

Implicítamente en el párrafo anterior se atisba la relación oferta – demanda de transporte. La demanda de transporte es irregular, asimétrica y excede mayoritariamente la capacidad del sistema de transporte. La situación se complejiza cuando se conoce que (Rodrigue et al. 2009): comúnmente los costos de transporte son hasta el 20 % del costo del producto, con impactos significativos en la estructura de las actividades económicas; alrededor del 60 % del consumo global de energía se atribuye a tales actividades, y estas típicamente alcanzan el 25 % de toda la energía consumida por la economía.

La oferta de servicios de transporte es altamente compleja, con al menos una autoridad proveedora de la infraestructura (el Estado de cada país) y los operadores de servicios (pueden ser varios por modo de transporte) (Calderón, s/f). La oferta de infraestructuras y servicios de transporte se combinan con medidas de control de la demanda para reducir el parque de vehículos y el número de viajes, la promoción de modos no contaminantes, etc.

De los modelos de equilibrio oferta - demanda, desde 1960 la práctica consolidó el secuencial “modelo de 4 etapas” (García, 2001). Estas etapas son: generación de viajes, distribución, partición modal y asignación. En la actualidad este esquema se superó por métodos que integran varias etapas pero sigue siendo útil en muchas ocasiones.

En la República de Cuba el precio del servicio de transporte es de medio a alto, su nivel técnico se presta a la automatización y los operarios tienen calificación media. El equipo productivo requiere alto mantenimiento, por los muchos años en explotación y el deficiente estado de las vías. Estas razones conspiran contra la productividad del sistema de transporte, y como consecuencia el Producto Interno Bruto (PIB) real del sector transporte es menor de lo que sería en caso de tener una mejor productividad (Stockman, 1999).

Los sistemas de transporte son consecuencia de las teorías y modelos para organizar el espacio urbano, donde inciden poderosos grupos de interés y la normativa internacional. Con excepciones, organizar tal sistema es competencia estatal en primera instancia (Gago, 2002). La principal contradicción entre los espacios urbanos y los sistemas de transporte es que los mismos surgieron para desarrollar las urbanizaciones, y a la vez las asfixian (Fernández, 1980).

Entre los principales problemas de los sistemas de transporte se encuentran (Mancebo et al. 2008): dimensionar las flotas, definir las rutas, y diseñar el sistema de servicios técnicos que soportará la oferta en el mercado. En esta investigación nos centraremos en el último problema. En el caso del sistema de servicios técnicos, aún no se han identificado los niveles que permitan a los decisores de las políticas de transporte cumplir cabalmente su trabajo. En particular, se ha apreciado en la literatura revisada la necesidad impostergable de ser objeto de la medición, el análisis y la mejora (Lois, 2008) (ISO, 2008).

De la medición, en la práctica se aprecia división entre operaciones y mantenimiento, es decir, se controlan las flotas con unos indicadores y el sistema de mantenimiento con otros. Sin embargo, está pendiente integrar ambos conjuntos de indicadores. El presente trabajo presenta un

método de medición no normalizado, desarrollado para organizaciones de transporte terrestre por carretera, con una especificación clara de sus requisitos y objetivos. Su validación es una confirmación, a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto (ISO, 2005).

Sobre el *análisis* de los sistemas de transporte se aprecian numerosas acciones, siendo notables: las terminales intermodales, los sistemas inteligentes de transporte (*Intelligent Transportation Systems - ITS*), la reorganización de bases de transporte, la aplicación de modelos económicos – matemáticos para planificar, entre otras. Al respecto se han identificado cuatro períodos de planificación, que comienzan en 1945 hasta la actualidad (Martínez, 2010).

La *mejora* se entiende como cualidad insoslayable de los sistemas de transporte, que debe involucrar a toda la organización. En la República de Cuba tal necesidad se ha entendido y formulado por la máxima Dirección como una plataforma integral: el Perfeccionamiento Empresarial (Alhama et al. 2001). Esta evolución macroeconómica adelanta un tema: la innovación tecnológica provoca un gran impacto en la productividad (Islas et al. 2000).

De los numerosos modelos de mejora que existen (Pérez, 2006), resultaron trascendentes para esta investigación tres modelos cuantitativos y once cualitativos. Sin embargo, los criterios rectores escogidos para el proceso de servicios técnicos son: estabilidad, capacidad, focalización en las especificaciones, y estratos de mantenimiento, que a su vez incluyen a las prácticas de mantenimiento. Actualmente, los métodos de medición forman parte de los sistemas de gestión de las mediciones, y las acciones de análisis y de mejora se han agrupado para facilitar el trabajo (AENOR, 2003).

Es un hecho indiscutible la baja competitividad de los sistemas de transporte público de la República de Cuba, alejados de las características y los desempeños paradigmáticos, realidad que es una causalidad. Sin analizar las numerosas fuentes que han contribuido a la situación, existe claridad en que el nuevo contexto socioeconómico derivado de actualizar el modelo económico cubano ha exacerbado las contradicciones percibidas (Murillo, 2014).

En síntesis la **situación problemática** que se detectó es: las organizaciones de transporte terrestre por carretera presentan dificultades de estabilidad en el desempeño y bajo aprovechamiento de sus capacidades instaladas.

El **problema general** a tratar es: el sistema de mantenimiento en las organizaciones de transporte terrestre por carretera presenta baja eficiencia o eficacia. Lo anterior se aprecia prácticamente en altos costos de las transportaciones, bajo aprovechamiento del recorrido, incumplimientos del plan de mantenimiento, y otras manifestaciones.

El **problema específico** a resolver es: ¿Cómo mejorar la efectividad del sistema de mantenimiento en las organizaciones de transporte terrestre por carretera, con nuevos métodos que permitan alcanzar los valores normados del Coeficiente de Disponibilidad Técnica (CDT), y logren un desempeño estable en las operaciones?

El **objeto de estudio** lo constituye el sistema de mantenimiento en las organizaciones de transporte terrestre por carretera. El **campo de acción** es la organización y planificación de la explotación del sistema de mantenimiento.

El trabajo se sustenta en la siguiente **hipótesis**: la elaboración y aplicación de nuevos métodos de medición y análisis, que permitan de forma ágil evaluar, seleccionar y planificar las operaciones con los medios de transporte terrestre por carretera, permitirán a los directivos incidir en el aumento de la efectividad de las operaciones de transportación.

El **objetivo** del artículo es elaborar un método de medición del sistema de mantenimiento en las organizaciones de transporte terrestre por carretera, que permita aumentar la efectividad de sus operaciones.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Los métodos de investigación utilizados en la investigación fueron: análisis documental de tres organizaciones de transporte terrestre por carretera, consulta a expertos (Hernández, 2013) (Díaz, 2013) (Domínguez, 2013) (Pérez, 2014), entrevistas al personal, estudio de capacidad del proceso de mantenimiento a los medios de transporte terrestre por carretera, diseño factorial de experimentos, y ajuste estadístico de ecuaciones de regresión de la desviación típica del Coeficiente de Disponibilidad Técnica, en función de este valor y el tamaño de flota; con dos conceptos introducidos: la clase de mantenimiento y el coeficiente de ventana.

La investigación se dividió en las siguientes etapas:

1. Investigación teórica, para identificar las tendencias en los sistemas de mantenimiento a los vehículos de transporte de carga por carretera.

2. Investigación de campo del sistema de mantenimiento en tres organizaciones de transporte de carga de la provincia Holguín.
3. Desarrollo del método de medición del sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte de carga por carretera.
4. Validación del método de medición del sistema de mantenimiento.

En la República de Cuba se mide el proceso de mantenimiento en las organizaciones de transporte por carretera con el Coeficiente de Disponibilidad Técnica, calculado como el cociente de las cantidades de vehículos disponibles y totales de la flota, en cierto momento de la jornada laboral. Teniendo en cuenta las posibles manipulaciones o artilugios que ocurren en tales valores, los autores consideran que una medición más incisiva y realista sería la que considerara en la flota, la relación entre las horas disponibles y totales (o fondo productivo total) por día de trabajo.

Se hace inviable actualmente el proceso de mantenimiento en las organizaciones, alejado de los estándares mínimos de calidad exigidos por la globalización del mercado (el mercado europeo, al menos) (Staffempresarial, 2008). Estos estándares se basan en que las barreras de ingreso y de salida del mercado del sector son altas. El caso contrario es el de los estándares máximos, hasta alcanzar la Clase Mundial. Se entiende por Clase Mundial “*a la capacidad de satisfacer a los clientes en calidad, costo, continuidad, y conservación, dentro de normas internacionales con adaptaciones locales*” (Pigueron, 1994).

Las recomendaciones más exigentes plantean que el CDT debe superar al 98 %, y que no se acepte si es inferior al 95 % (NASA, 1998) (Améndola, 2003). A escala industrial, para las empresas químicas o las fundiciones de acero, se recomienda el 96 % (Dhillon, 2006). La meta para las empresas japonesas es mayor que 90 % (Mobley, 2002); que coincide con el criterio de 90 a 94 % (Navarrete et al. 2000). Otra fuente plantea que la disponibilidad operacional será de 80 % ejecutiva y 88 % convencional (Dias et al. 2002), por lo que con el último criterio se cubrió el rango de posibles valores del CDT. Tal valor de CDT siempre se asocia a un estado que se establece por cada organización. Para entornos menos exigentes los valores anteriores serán representativos de los procesos perfeccionados. En tal caso se plantean las siguientes metas parciales para el CDT en las organizaciones de transporte terrestre por carretera convencionales: cuando es igual al 70 % se acepta, entre 69 % y 55 % está mal, e inferior a 40 % es inoperable.

Para el proceso de mantenimiento de una organización de transporte terrestre por carretera, se diseñó un experimento factorial (ver la Tabla 1).

Tabla 1. Diseño de un experimento factorial para el proceso de mantenimiento

Factores:	Niveles:	Réplicas:
Tamaño de la flota	5 (1, 10, 20, 50 y 100 unidades)	180
Coefficiente de Disponibilidad Técnica	6 (40,00; 55,00; 70,00; 75,45; 95,00 y 98,00 %)	
Tamaño de la muestra	(5 * 6 * 180) = 5.400 observaciones	

El método parte de que las dos variables independientes o factores que se miden en la práctica son el CDT de la flota, y su tamaño, los cuales deben conducir los procesos de remotorización, sustitución o renovación del parque vehicular. Los niveles del tamaño de flota reflejan la situación en América Latina (Islas et al. 2000) (OEA, 2000) (CIPRES Ingeniería Ltda., 2010, p. 28), incluyendo el nivel superior de 100 unidades (Vorónov, 1975) (Bronstein et al. 1987) (Gobierno de la República de Argentina, 2007).

Los valores de la función de distribución probabilística de los estadísticos del proceso de mantenimiento (desviación típica y media aritmética) se pueden obtener por tres vías de simulación fundamentales:

1. Técnicas de inicialización (*Bootstrapping*) (Jain et al. 1987)
2. Método de Monte Carlo (Theodoridis et al. 2002) (Wooldridge, 2004)
3. Método del Generador Congruente Lineal – GCL (*Linear Congruential Method - LCM*) (Abramowitz y Stegun, 1972) (Liu et al. 2003).

En comparación, el Método del Generador Congruente Lineal fue preferido contra el Método de Monte Carlo, porque se demostró que el último subestima los valores de la capacidad del proceso cuando esta realmente se encuentra por encima de 1,33, y los sobrestima cuando esta es igual a 1,00 (Pignatiello et al. 1993).

Como las variables de entrada son aleatorias, se plantea la independencia de las variables de salida, es decir, el estadístico alto de una muestra no influye para que el siguiente lo sea. Luego la media aritmética sigue la distribución normal, e independientemente de ella, la

varianza sigue la distribución Ji cuadrado (Dixon et al. 1971) (ver la figura 1).

La simulación en el tabulador Excel del Método del Generador Congruente Lineal se realizó del siguiente modo (Liengme, 2002):

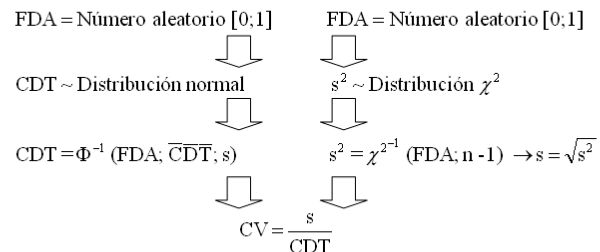


Figura 1. Simulación en el tabulador Excel del Método del Generador Congruente Lineal

Variables de entrada:

1. **Función de distribución acumulativa – FDA (*Cumulative Distribution Function - CDF*) de la media aritmética:** número aleatorio generado entre 0 y 1.
2. **Función de distribución acumulativa de la varianza:** ídem al anterior.

Variables de salida:

3. **Media aritmética:** Se calcula por la Distribución normal inversa, con probabilidad del valor de la FDA de la media aritmética, el valor de media aritmética deseado en el proceso, y la desviación estándar.
4. **Varianza:** Se calcula por la Distribución Ji cuadrado inversa, con probabilidad del valor de la FDA de la varianza, y los grados de libertad se calculan con el tamaño de la flota menos la unidad.
5. **Desviación típica:** Se calcula como la raíz cuadrada de la varianza.
6. **Coefficiente de variación (CV):** Se calcula como el cociente de la desviación típica del CDT y el CDT. Si es menor o igual que 10,00 % el proceso es estable, si es mayor que 10,00 % hasta 20,00 % es inestable, y más de 20,00 % es un proceso desclasado.

Se empleó el Método del Generador Congruente Lineal para generar una muestra de valores del CDT de una flota, y de su desviación típica; todos son números pseudoaleatorios. La simulación se realizó en una microcomputadora

personal portátil marca “Hewlett - Packard”, con un sistema operativo Windows Vista de 64 bits, un procesador de segunda generación modelo “i3” de cuatro núcleos a 2,40 GHz de velocidad y 4 Gb de memoria de acceso aleatorio. La capacidad del disco duro fue de 500 Gb, de ellos 320 Gb disponibles.

RESULTADOS

Se analizaron 30 configuraciones de medios, según los cinco niveles de tamaño de la flota y los seis niveles del CDT. Cada configuración aportó 180 casos, para una muestra inicial de 5.400 casos. Luego se aplicaron los siguientes filtros por cada configuración:

- Coeficiente de variación entre 0,00 % y 20,00 %.
- Normalización del valor del CDT entre -2,00 y +2,00.

La ecuación 1 muestra cómo se normalizaron los valores del CDT en cada réplica.

$$Z_{CDT_i} = \frac{DCT_i - \bar{CDT}}{s} \quad (1)$$

Donde

- Z_{CDT_i} : valor normalizado del CDT de la réplica
- DCT_i : cada valor en cuestión del CDT de la réplica
- \bar{CDT} : Coeficiente de Disponibilidad Técnica promedio de la réplica
- s : desviación típica muestral del CDT

Se resumió la información estadística de los 3.350 datos que cumplieron los criterios anteriores por configuración, que representó el 62,04 % de la muestra inicial. De esos datos, se desecharon además los datos con un Coeficiente de variación superior al 20 %.

El tamaño de muestra final de 2.221 casos (41,13 %) es superior al tamaño de muestra recomendada de 2.165 casos. Dicho valor se obtiene por la desigualdad de Chebyshev, tal que con la probabilidad de 95,44 %, el estimador de la desviación típica sea hasta la décima parte del Coeficiente de Disponibilidad Técnica (Benaroya et al. 2005).

Se representaron gráficamente las 30 configuraciones de la flota de transporte terrestre por carretera, que corresponden a los tres estados del proceso de mantenimiento de acuerdo con la estabilidad según el Coeficiente de variación. En el eje de las abscisas se ubicaron los valores del Coeficiente de Disponibilidad Técnica y en el eje de las ordenadas el tamaño de la flota (n). Dirigirse a la figura 2.

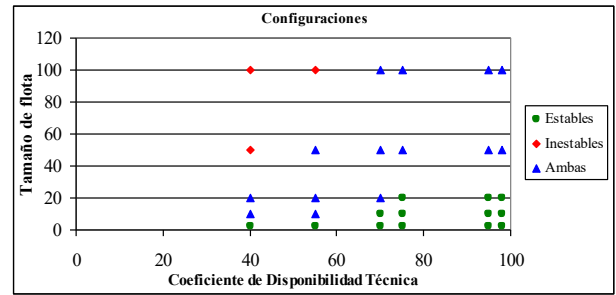


Figura 2. Representación gráfica de las 30 configuraciones de una flota de transporte terrestre por carretera, o “Mapa de ruta”

En la figura 2, los puntos redondos se emplean para las configuraciones estables, los puntos con forma de rombo para las configuraciones inestables, y los puntos con forma de triángulo para aquellas configuraciones que fueron tanto estables como inestables. Los autores denominan la figura 2 “Mapa de ruta” para los procesos de modernización, remotorización y/o modificación de las flotas de medios de transporte.

Para analizar al detalle los datos de cada configuración de medios de transporte terrestre, los autores introdujeron dos conceptos: la clase de mantenimiento y el coeficiente de ventana.

La **clase de mantenimiento** se obtiene con los rangos del índice de capacidad potencial de proceso (ver la Tabla 2). Un proceso es capaz cuando el valor del índice de capacidad potencial de proceso es mayor o igual que 1,33. Tal índice se define por la ecuación 2.

$$C_p = \frac{ES - EI}{6 \cdot s} \quad (2)$$

Donde:

- C_p : índice de capacidad potencial del proceso de mantenimiento
- ES : especificación superior del CDT (100,00 %)
- EI : especificación inferior del CDT (40,00 %)
- 6: constante que considera el rango de valores de la distribución normal
- s : desviación típica muestral del CDT

Tabla 2. Valores de las clases de mantenimiento

Mínimo de C_p :	Máximo de C_p :	Clases de mantenimiento:	Cuentas			
			Estables y Capaces:	Estables e Incapaces:	Inestables e Incapaces:	Total:
0,00	0,33	5	0	0	1.129	1.129
0,34	0,67	4	0	92	0	92
0,68	1,00	3	0	358	0	358
1,00	1,33	2	0	639	0	639
1,33	1,66	1	629	0	0	629
1,66	2,00	1				
2,00	2,33	Mundial	174	0	0	174
]0,00	2,33[-1 (Desclasado)	465	20	0	485
Totales:			1.268	1.109	1.129	3.506

Las tres columnas siguientes de la Tabla 2 se refieren a los posibles estados del proceso de mantenimiento: estable y capaz (EyC); estable e incapaz (EeI); e inestable e incapaz (IeI). Las características de cada estado se explicarán conforme estos se analicen. La columna **Cuenta total** muestra los casos observados por cada clase de mantenimiento.

El **coeficiente de ventana** es una variable discreta que toma valores desde 0 hasta 14. El valor de 0 corresponde a los procesos con una diferencia de los valores de los índices de capacidad real y potencial de proceso entre 1,00 y 1,50. El valor de 14 es para los procesos con una diferencia de los valores de los índices de capacidad real y potencial de proceso entre -6,00 y -5,50. En cada intervalo de diferencias se identificaron los valores del CDT desde el mínimo hasta el máximo.

A cada diferencia de los valores de los índices de capacidad real y potencial de proceso se le determinó la marca de clase; y se obtuvo la ecuación 3, con un coeficiente de correlación de 100,00 %, para que sea más sencillo el trabajo con el coeficiente de ventana.

$$c_{vent} = -0,5 \cdot dif + 1,25 \quad (3)$$

Donde:

C_{vent} : es el coeficiente de ventana y
 dif : es la diferencia de los valores de los índices de capacidad real del proceso (C_{pk}) y potencial de proceso (C_p)

La capacidad real del proceso, que considera tanto la variación como el centrado del proceso, cuando la característica de calidad es del tipo “entre más grande

mejor”, se determina a partir del índice de capacidad real, como se muestra en la ecuación 4.

$$C_{pk} = \frac{\bar{CDT} - EI}{3 \cdot s} \quad (4)$$

Donde:

C_{pk} : índice de capacidad real del proceso
 \bar{CDT} : Coeficiente de Disponibilidad Técnica promedio de la réplica

En la Tabla 2 los datos de cada caso de configuración de medios de transporte terrestre se agrupan en un efecto “escalera”. Los casos desclasados, y de las clases de mantenimiento mundial y uno corresponden al estado de un proceso estable y capaz. Los casos de clases de mantenimiento dos, tres y cuatro pertenecen al estado de un proceso estable e incapaz. Los casos de la clase de mantenimiento cinco existen en el estado de un proceso inestable e incapaz. Se han resaltado los bordes de cada estado del proceso de mantenimiento. El efecto “escalera” en la Tabla 2 reafirma el criterio de clasificación del concepto clase de mantenimiento propuesto.

Para los casos estables y capaces, se identifican datos para las clases de mantenimiento: mundial, uno y desclasada. Por ejemplo: los valores del CDT deben encontrarse entre los rangos mínimo (CDT_{min}) y máximo (CDT_{max}) para la clase uno (ver ecuaciones 5 y 6, respectivamente).

$$CDT_{min} = 82,7407 + 10,5651 \cdot c_{vent} + 0,418268 \cdot c_{vent}^2 \quad (5)$$

$$CDT_{max} = 85,5076 + 10,0196 \cdot c_{vent} + 0,29586 \cdot c_{vent}^2 \quad (6)$$

Para los casos estables e incapaces, se identifican datos para las clases de mantenimiento: dos y tres. Por ejemplo: los valores del CDT para la clase dos deben encontrarse entre los rangos mínimo y máximo (ver ecuaciones 7 y 8, respectivamente).

$$CDT_{min} = 82,3459 + 13,1574 \cdot c_{vent} + 0,602552 \cdot c_{vent}^2 \quad (7)$$

$$CDT_{max} = 86,1515 + 11,9317 \cdot c_{vent} + 0,147179 \cdot c_{vent}^2 \quad (8)$$

Para los casos inestables e incapaces, se identifican datos para las clases de mantenimiento: cuatro y cinco. Por ejemplo: los valores del CDT para la clase cinco deben encontrarse entre los rangos mínimo y máximo (ver ecuaciones 9 y 10, respectivamente).

$$CDT_{min} = 67,0788 + 23,2102 \cdot c_{vent} + 3,80208 \cdot c_{vent}^2 \quad (9)$$

$$CDT_{max} = 76,6425 + 24,1376 \cdot c_{vent} + 3,52124 \cdot c_{vent}^2 \quad (10)$$

DISCUSIÓN

En este punto fue posible construir un gráfico de control para el proceso de mantenimiento de los medios de transporte terrestre por carretera, por clase de mantenimiento. Para ello se promediaron aritméticamente las ecuaciones correspondientes a cada clase de mantenimiento.

Por ejemplo: para la clase de mantenimiento cinco se promedia el Coeficiente de Disponibilidad Técnica, obtenido de evaluar en las ecuaciones 9 y 10 el coeficiente de ventana.

A cada valor se le sumó y se le restó una vez la desviación típica, para obtener los límites de alerta mínimo y máximo. Nuevamente, a cada valor se le sumó y se le restó dos veces la desviación típica, para obtener los límites de alarma mínimo y máximo.

Por ello, se obtienen en los gráficos que siguen cinco curvas. Estas corresponden de arriba abajo al límite superior de alarma, al límite superior de alerta, al promedio del Coeficiente de Disponibilidad Técnica, al límite inferior de alerta y al límite inferior de alarma.

Las ecuaciones obtenidas se emplearon en tres organizaciones de transporte terrestre por carretera de la provincia Holguín, a partir de construir las respectivas series cronológicas del Coeficiente de Disponibilidad Técnica. En el trienio 2007 a 2009 se aplicaron en flotas de camiones KAMAZ, North Benz y Renault, y en el año 2013 en una flota de cuñas tractoras marca DAF.

APLICACIÓN EN UNA FLOTA DE CAMIONES KAMAZ

El método se aplicó en una organización de transporte terrestre de carga por carretera grande (más de 50 unidades tractoras), poseedora de camiones marca KAMAZ, de procedencia rusa. En el año 2008 se analizaron 17 semanas de desempeño de la flota, de acuerdo con los criterios anteriormente definidos, resultando en: 14 semanas “estables y capaces”; 2 semanas “estables e incapaces”; y 1 semana “inestable e incapaz”, con un tamaño de flota de 28 camiones. Dirigirse a la figura 3.

Se le asignó convencionalmente a la flota de camiones KAMAZ la clase cinco de mantenimiento, a pesar de que no se llega a ella. Se plantea de esta manera porque no se han obtenido ecuaciones que expliquen situaciones similares debido a sus bajos resultados técnicos – explotativos.

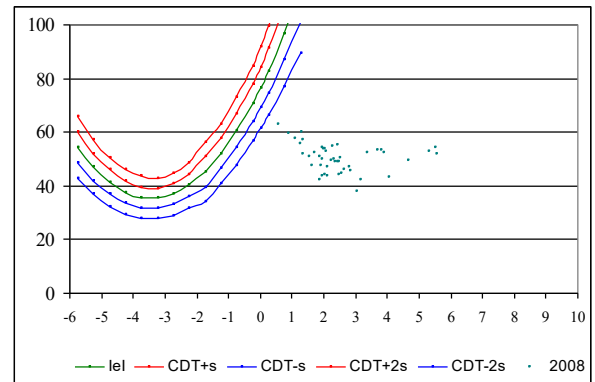


Figura 3. Desempeño de la flota de camiones KAMAZ

Se plantea a favor de los camiones KAMAZ que a pesar de contar con gran prestigio el fabricante de tales equipos, estos se han explotado por más de tres décadas y su estado técnico como promedio es regular.

APLICACIÓN EN UNA FLOTA DE CAMIONES NORTH BENZ

En la misma organización de transporte terrestre de carga referida anteriormente, también poseedora de camiones marca North Benz, de procedencia china, se observó la clase cuatro de mantenimiento.

Dichos camiones se adquirieron de su fabricante, con un estado técnico excelente. Sin embargo, aunque se aprecia una mejor clase de mantenimiento que la observada en los camiones KAMAZ, la calidad de los materiales de algunos sistemas mecánicos de estos no tuvo el comportamiento esperado en las condiciones de explotación de la provincia Holguín.

En el año 2009 se analizaron 35 semanas de desempeño, resultando en: 14 semanas “estables y capaces”; 19 semanas “estables e incapaces”; y 2 semanas “inestables e incapaces”. Se observó que la nube de puntos se concentró mayoritariamente entre los límites de alarma establecidos. Dirigirse a la figura 4.

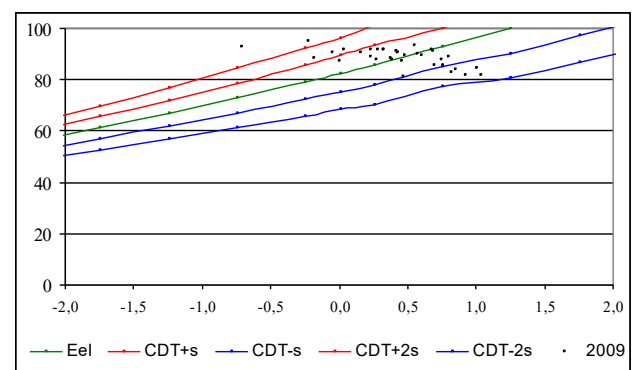


Figura 4. Desempeño de la flota de camiones North Benz

APLICACIÓN EN UNA FLOTA DE CAMIONES RENAULT

El método se aplicó en otra organización de transporte terrestre de carga por carretera grande, poseedora de camiones marca Renault, de procedencia francesa. Tales equipos se adquirieron de “segunda mano”, y a pesar de explotarse constantemente, se constata una mejor respuesta cinemática y dinámica ante los requerimientos de las vías de la provincia Holguín.

En el año 2007 se analizaron 48 semanas de desempeño de esa flota, resultando en: 38 semanas “estables y capaces”; 11 semanas “estables e incapaces”; y 3 semanas “inestables e incapaces”. Se observó que la nube de puntos se distribuyó desde el límite superior de alarma establecido. Se asignó la clase cuatro de mantenimiento. Dirigirse a la figura 5.

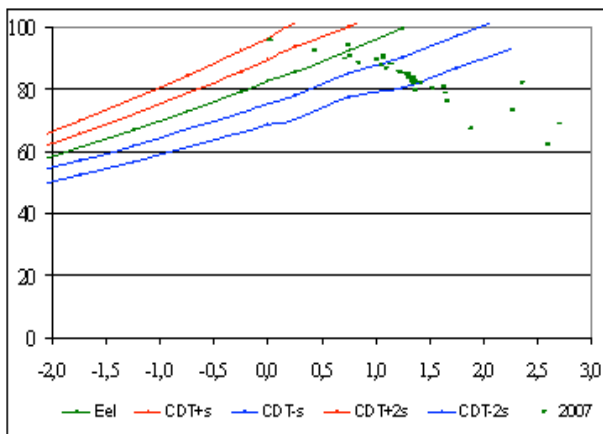


Figura 5. Desempeño de la flota de camiones Renault

APLICACIÓN EN UNA FLOTA DE CUÑAS TRACTORAS DAF

El método se aplicó en una tercera organización de transporte terrestre de carga por carretera grande, propietaria de 17 cuñas tractoras marca DAF, de procedencia holandesa. En el año 2013 se analizaron 52 semanas de desempeño de la flota, todas “inestables e incapaces”. Dirigirse a la figura 6.

Por primera vez desde que se comenzó la investigación, se observó el centraje del proceso alrededor del coeficiente de ventana 1. Lo anterior se considera positivo, de acuerdo con la premisa teórica de que es más difícil reducir la dispersión de los resultados, que centrar los resultados en el objetivo del proceso en cuestión. Se asignó la clase cinco de mantenimiento.

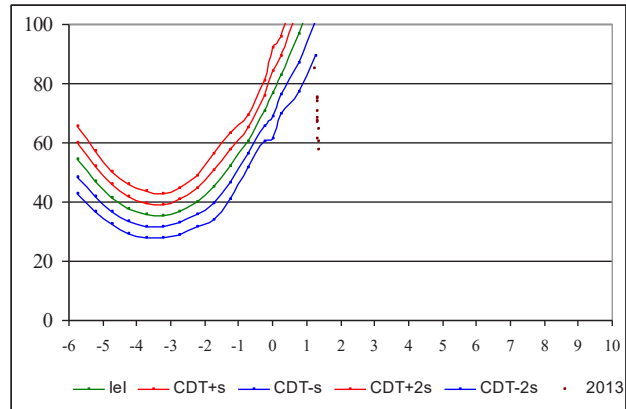


Figura 6. Desempeño de la flota de cuñas tractoras DAF

CONCLUSIONES

Como resultado de esta investigación, pudo arribarse a las conclusiones generales siguientes:

1. Se ha desarrollado un método de medición del sistema del mantenimiento a los medios de transporte terrestre por carretera, que permite relacionar y analizar los valores de las variables: índice de capacidad de proceso e índice de capacidad potencial de proceso, con las medidas de tendencia central y de dispersión del Coeficiente de Disponibilidad Técnica (media aritmética y desviación típica, respectivamente).
2. El método permitió identificar las clases cuatro y cinco de un sistema de mantenimiento, en las cuales se podrían encontrar las reservas de productividad que redundarían en beneficios para sus respectivas organizaciones, de explotarse adecuadamente.
3. Se han obtenido las ecuaciones de regresión del Coeficiente de Disponibilidad Técnica y su desviación típica, que permiten obtener los gráficos de control para los estados del proceso de mantenimiento. La validación desarrollada a través del Análisis de Varianza (ANAVA) ha permitido conocer que las relaciones entre los valores de las variables seleccionadas no es casual.
4. Se han obtenido las configuraciones de una flota de transporte terrestre por carretera que corresponden a tres estados relacionados con la estabilidad del proceso de mantenimiento, denominado “Mapa de ruta”, lo cual permitirá la toma de decisiones efectivas de las modificaciones de la flota y el proceso de mantenimiento en sí.
5. El método puede ser aplicado en las flotas de medios de transporte terrestre por carretera del Ministerio de Transporte (MITRANS) de la República de Cuba, hasta mejorar la explotación de unos equipos tan importantes para el funcionamiento del país.

AGRADECIMIENTOS

Se desea agradecer al personal de las organizaciones de transporte de carga donde se aplicó esta investigación, desde sus comienzos en el año 2006 hasta la actualidad; al Instituto Politécnico Nacional (IPN) de la República de los Estados Unidos Mexicanos y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

REFERENCIAS

- ABRAMOWITZ, M., & STEGUN, I. (1972). *Handbook of Mathematical Functions*. Washington: Editorial National Bureau of Standards. 26.
- AENOR. (2003). *UNE - EN ISO 10 012: 2003: Sistemas de Gestión de las Mediciones. Requisitos para los Procesos de Medición y Equipos de Medición*. Madrid. 12.
- ALHAMA, R., ALONSO, F. & CUEVAS, R. (2001). *Perfeccionamiento Empresarial. Realidades y Retos*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales. 45.
- AMÉNDOLA, L. (2003). *Indicadores de Gestión*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 30.
- BENAROYA, H. & HAN, S. (2005). *Probability Models in Engineering and Science*. Boca Raton: Editorial Taylor & Francis Group. 45.
- BRONSTEIN, L. & SHULMAN, A. (1987). *Economía del Transporte por Carretera*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 240.
- CALDERÓN, E. (s/f). *La Consideración de la Sostenibilidad de las Estrategias de Transporte y de Ordenación del Territorio*. Las Investigaciones en Curso. Madrid: Editorial Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 67.
- CIPRES INGENIERÍA LTDA. (2010). *Análisis Económico del Transporte de Carga Nacional*. Santiago: Editorial CIPRES. 25.
- DHILLON, B. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton: Editorial Taylor & Francis Group. 114.
- DÍAZ, Y. (2013). *Consulta a experto*. 2013.
- DIXON, W. & MASSEY, F. (1971). *Introducción al Análisis Estadístico*. La Habana: Instituto Cubano del Libro. 293.
- DOMÍNGUEZ, P. (2013). *Consulta a experto*. 2013.
- FERNÁNDEZ, R. (1980). *Transporte, Espacio y Capital*. Madrid: Editorial Nuestra Cultura. 68.
- GAGO, C. (2002). *Región, Política y Transporte Aéreo*. Madrid: Editorial Universidad Complutense de Madrid. 48.
- GARCÍA, R. (2001). *Metodología para el Diseño de Redes de Transporte y para la Elaboración de Algoritmos en Programación Matemática Convexa Diferenciable*. Madrid: Editorial Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. 51.
- GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE ARGENTINA. (2007). *El Transporte Automotor de Cargas en la Argentina*. Buenos Aires: Editorial del Gobierno. p. 147 a 168.
- GROTE, K. & ANTONSSON, E. (2008). *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. New York: Editorial Springer Science. 789.
- HERNÁNDEZ, O. (2013). *Consulta a experto*. 2013.
- ISLAS, V., TORRES, G. & RIVERA, C. (2000). *Productividad en el Transporte Mexicano*. Sanfandila: Editorial Instituto Mexicano del Transporte. 23.
- ISLAS, V., RIVERA, C. & TORRES, G. (2002). *Incremento de la Productividad en el Autotransporte Carretero de Cargas*. Sanfandila: Editorial Instituto Mexicano del Transporte. 42.
- ISO. (2008). *ISO 9001: 2008. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos*. Suiza: Editorial ISO. 15.
- ISO. (2005). *ISO / IEC 17 025: 2005 (ES). Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración*. Suiza: Editorial ISO. 19.
- JAIN, A., DUBES, R. & CHEN, C. (1987). *Bootstrapping techniques for error estimation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 9. p. 628-633.
- DIAS, A., PADULA, J. & MATOS, F. (2002). *Projeto e Implementação da Manutenção em Frotas, um relato de experiência*. Club de Mantenimiento. Año 3, No. 10. p. 3.

- KOBBACY, K. & PRABHAKAR, D. (2008). A Complex System Maintenance Handbook. Springer series in reliability engineering. 422.
- LIENGME, B. (2002). A Guide To Microsoft Excel 2002 For Scientists And Engineers. Oxford: Editorial Elsevier Butterworth-Heinemann. 138.
- LIU, G. & HAN, X. (2003). Computational Inverse Techniques in Nondestructive Evaluation. Boca Raton: Editorial CRC Press LLC. 28.
- LOIS, D. (2008). Actitudes Hacia Modos De Transporte Urbano: Aspectos Expresivos Y Afectivos. Madrid: Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia. 89.
- MANCEBO, S., ORTEGA, E., VALENTÍN, A., MARTÍN, B. & MARTÍN, L. (2008). Aprendiendo a Manejar los SIG en la Gestión Ambiental. Madrid: Editorial Creative Commons. 63.
- MARTÍNEZ, O. (2010). La Planificación de los Transportes y la Movilidad. Madrid: Editorial Universidad Politécnica de Madrid. 16.
- MOBLEY, R. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. Boston: Editorial Butterworth - Heinemann. 289.
- MURILLO, M. (2014). Intervención en la Asamblea Nacional del Poder Popular. Periódico Granma. p. 3.
- NAVARRETE, E., TRETO, O., RODRÍGUEZ, J. & HERNÁNDEZ, E. (2000). Gestión e Ingeniería Integral del Mantenimiento. La Habana: Editorial CEIM - ISPJAE. 179.
- ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS. (2000). Estudio de Integración Regional en el Transporte de Carga. Recuperado el 15 de diciembre de 2013, de <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea75s/begin.htm>.
- PEREZ, R. (2006). Modelo y Procedimiento Para La Gestión De La Calidad Del Destino Turístico Holguinero. Holguín: Editorial Universidad de Holguín. 50.
- PÉREZ, O. (2014). Consulta a experto.
- PIGUERON, G. (1994). La Empresa De Clase Mundial. Distrito Federal: Grupo Editorial Iberoamérica. 85.
- PIGNATIELLO, J. & RAMBERG, J. Process capability indices: Just say "no". 47th Annu. Congr. Trans. p. 13.
- RODRIGUE, J., COMTOIS, C. & SLACK, B. (2009). The Geography Of Transport Systems. New York: Editorial Taylor & Francis Group. 44.
- SMITH, C. (2009). Practical Process Control: Tuning and Troubleshooting. New Jersey: Editorial John Wiley & Sons, Inc. 173.
- STAFFEMPRESARIAL. (2008). El Futuro del Director de Calidad. Un Cargo en Proceso de Revisión. Recuperado el 26 de octubre de 2013, de http://www.noticias.com/staffempresarial/guia_servicios/index.html.
- STOCKMAN, A. (1999). Introduction to Economics. Editorial: The Dryden Press. 81.
- THEODORIDIS, S., & KOUTROUMBAS, K. (2002). Pattern Recognition. San Diego: Editorial Academic Press. 510.
- VORÓNOV, V. (1975). Servicio Técnico a Los Vehículos. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 78.
- WOOLDRIDGE, J. (2004). Econometric Analysis Of Cross Section And Panel Data. Cambridge: Editorial The MIT Press. 96.