

Determinación de elementos críticos en vehículos de transporte de cargas mediante el empleo de matrices de riesgo

Adrian Carrillo Gálvez

correo electrónico: acarrillo@cemat.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Laksmi Penabad Sanz

correo electrónico: laksmt@mecanica.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba

Resumen

En el trabajo se evalúa la posibilidad de determinar las piezas y agregados más importantes para el mantenimiento contra avería de una flota de vehículos de cargas con el uso de matrices de riesgo. Esta herramienta de jerarquización, fácil de comprender y de elaborar, es utilizada en industrias de alto riesgo y lamentablemente muy poco difundida en Cuba. Con estas matrices se evaluaron las consecuencias de los fallos que sufrieron las piezas durante el período de un año y fue posible establecer una lista de prioridades. Esta lista permitió conocer qué elementos estudiar más profundamente con vistas a una futura planeación de necesidades de recursos.

Palabras claves: flotas de transporte, mantenimiento, matrices de riesgo

Recibido: 2 de octubre de 2014

Aprobado: 15 de junio de 2015

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, debido al aumento en número y en complejidad de los activos físicos encargados de generar bienes y servicios, se han convertido en principales retos para toda empresa: minimizar los costos de adquisición, los costos de mantenimiento y asegurar el correcto desempeño de estos activos físicos [1]. Además, las restricciones de los presupuestos y la escasez de recursos han hecho que las empresas traten de ser más eficientes en lo que concierne a la operación y al

mantenimiento, impulsando a los directivos a balancear y distribuir los recursos de mantenimiento principalmente en los activos considerados más valiosos [2]. Para determinar estos activos más valiosos existen diversas maneras de jerarquizar elementos o procesos para la toma de decisiones: Lógica difusa compensatoria [3], análisis de criticidad [4], proceso analítico jerárquico [5,6], entre otros; pero durante los últimos años se ha desarrollado con mucho éxito el enfoque basado en la gestión de riesgos [7,8] y dentro de ella, el uso de matrices de riesgo [9-12] como herramienta para establecer prioridades.

La gestión de riesgos se centra en ayudar a las entidades a mitigar los riesgos inherentes a activos críticos para una producción segura y confiable. Se basa en la identificación previa de los activos y la determinación de las maneras más efectivas para evitar o disminuir los fallos y teniendo una idea general del efecto total que acarrean tales fallos [13]. La determinación de estos activos principales se realiza a través de matrices de riesgo, una metodología utilizada en industrias de alto riesgo, que además es fácil de implementar y que no implica un elevado consumo de tiempo para los especialistas que la elaboran [10]. Estas características hacen pensar en la posibilidad del uso de esta herramienta en otros sectores productivos distintos a los que actualmente la utilizan.

La necesidad de priorizar activos o procesos no es un fenómeno ajeno a Cuba. En la mayoría de las entidades los presupuestos destinados al mantenimiento son insuficientes, esto hace que los directivos no puedan suplir totalmente las necesidades de recursos. Estas limitaciones afectan muchos más al sector del transporte debido a que, a diferencia de otras esferas productivas, en el transporte el gasto por concepto de mantenimiento puede llegar a ser tan alto como el capital necesario para la operación, excluyendo la inversión inicial. En esta realidad posee mayor importancia el perfeccionamiento de la planificación como "...la vía principal para la dirección de la economía nacional..." [14]; planificación que debe abarcar todos los niveles, incluyendo las demandas de los recursos necesarios para mantenimiento. Planeación además que debe comenzar por la determinación de los recursos más importantes para la continuidad de la producción, a partir de una jerarquización de los mismos.

La revisión bibliográfica realizada para esta investigación evidencia que en Cuba o se han utilizado las matrices de riesgo en sectores en los que tradicionalmente se utilizan o se han realizado estudios de priorización en el transporte con enfoques menos efectivos. Así es que las matrices de riesgo han sido utilizadas en 2006 por Vilaragut [15] para evaluar la seguridad en tratamientos con teleterapia, en 2010 por Cruz [10] para prevenir accidentes durante tratamientos de radioterapia y en 2011 por Torres [11] para jerarquizar riesgos relativos a la actividad docente. Así mismo, se han realizado algunos trabajos para priorizar elementos en el transporte: en 2004 Bonet [16] mediante el uso de la ley de Pareto establece jerarquías en el sector del transporte, metodología que tiene su principal limitación en el hecho de que se crean histogramas a partir de evaluar factores de manera independientes, lo que no permite llegar a una evaluación global. En 2008 Rigol [17] realiza un estudio de gastos del mantenimiento correctivo en una empresa transportista. Para esto utiliza la ley de Pareto y determina un grupo de vehículos de mayor peso en los costos totales. Este enfoque no tiene en cuenta otras consecuencias de los fallos que generan mantenimientos correctivos, que sí son valorados en la gestión de riesgos y además el enfoque por vehículos en vez de por elementos individuales que fallaron, no permite planificar acertadamente la necesidad de recursos para el mantenimiento.

El estudio bibliográfico no evidencia la jerarquización de elementos relativos al mantenimiento en el transporte de cargas a través de matrices de riesgo. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue, valorar la posibilidad de la aplicación de matrices de riesgos en la identificación de los elementos principales para la realización de mantenimientos contra averías, en el sector del transporte de cargas. La metodología expuesta en este trabajo muestra los pasos necesarios para utilizar esta herramienta en la gestión del mantenimiento automotor. Dicha herramienta permite que los decisores identifiquen dónde deben centrarse los esfuerzos para perfeccionar la gestión del mantenimiento de sus vehículos. También posibilita mejorar el proceso de planificación de las demandas de piezas de repuestos, lo que conlleva una disminución de los tiempos de indisponibilidad de los vehículos producto de la falta de estas piezas en inventario y también sienta las bases para establecer políticas de inspección basada en el riesgo, un componente de la gestión de riesgos muy utilizada a nivel mundial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Matrices de riesgo

La matriz de riesgo es una herramienta cualitativa bidimensional que permite evaluar e identificar de forma sencilla y práctica activos, procesos o elementos críticos. Para ello se valora el *riesgo* numéricamente como el producto de dos parámetros que según los autores [18] difiere ligeramente:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \cdot \text{Consecuencia} \quad (1)$$

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \cdot \text{Consecuencia} \quad (2)$$

$$\text{Riesgo} = \text{Posibilidad} \cdot \text{Impacto} \quad (3)$$

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \cdot \text{Severidad} \quad (4)$$

donde:

Frecuencia: Cantidad de veces que aparece el fenómeno estudiado en un intervalo de tiempo definido.

Probabilidad: Magnitud que cuantifica la *posibilidad* de ocurrencia del fenómeno.

Consecuencia: Expresión, de manera cuantificable, de la *severidad* o *impacto* del fenómeno y la implicación que trae consigo su ocurrencia.

En el caso de las consecuencias de los fallos Moubray [1] las agrupa en: consecuencias en la seguridad y el medio ambiente; consecuencias operacionales (relacionadas con la afectación a la producción: capacidad, calidad o costos industriales) y consecuencias no operacionales (relacionadas directamente con la reparación).

La matriz se construye a partir de dos ejes perpendiculares, escalas ordinales que están graduadas según las clases que se establezcan para los factores bajo estudio. El valor del riesgo de cada elemento estudiado viene dado por las distintas combinaciones que se puedan suceder, tal como se observa en la figura 1.

SEVERIDAD	FRECUENCIA				
	Raro	Improbable	Possible	Probable	Cierto
Catastrófico	M	A	E	E	E
Grave	M	A	A	E	E
Moderado	B	M	A	A	E
Menor	B	B	M	A	A
Baja	B	B	B	M	M

Leyenda:
B-Bajo M-Medio A-Alto E-Extremo

Fig. 1. Matriz de riesgo 5x5 [12]. (Traducido por los autores)

La determinación y denominación de las categorías de los parámetros es en dependencia del fenómeno en estudio. En la figura 1 se observa cómo se ha clasificado la severidad en: *baja*, *menor*, *moderada*, *importante* y *catastrófica* y la frecuencia en: *rara*, *improbable*, *possible*, *probable*, *segura*. En las tablas 1 y 2 se observan otras clasificaciones para la frecuencia de ocurrencia y las consecuencias.

Esta evaluación permite tomar decisiones que prioricen la solución de los elementos de mayor *riesgo*.

Gestión del mantenimiento en las empresas transportistas cubanas

Las empresas transportistas en Cuba aseguran el correcto estado de funcionamiento de sus vehículos de carretera según lo dispuesto en la Norma Ramal 94:2004. Según este documento para lograr dicho objetivo deben realizarse las siguientes actividades de mantenimiento: mantenimientos técnicos (MT), revisiones mecánicas (RM) y reparaciones eventuales (R). Todas estas actividades son registradas y controladas en el *Subsistema de control de talleres*, el cual está compuesto por los siguientes documentos:

- **C.T.No.1.** Datos técnicos y control de vida de los agregados del vehículo.
- **C.T.No.2.** Control de mantenimiento y reparaciones.
- **C.T.No.3.** Control de intercambio de agregados.
- **C.T.No.4.** Reporte de reparación, mantenimiento y control de la prueba de funcionamiento.
- **C.T.No.5.** Movimiento del vehículo en el taller.
- **C.T.No.6.** Análisis de la vida útil de los motores.
- **C.T.No.7.** Control de combustibles, aceites y lubricantes.
- **C.T.No.8.** Control de las baterías.
- **C.T.No.9.** Informe diario del control de taller al jefe de la unidad o base.

Tabla 1
Clasificación de la frecuencia de ocurrencia [8]. (Traducido por los autores)

Nivel	Ocurrencia frecuencia/año	Explicación	Descripción
A	10^{-6}	Imposible	No ha sucedido y es imposible que ocurra en un área o industria similar
B	$10^{-6} \sim 10^{-4}$	Poco probable	No ha sucedido y sucede ocasionalmente en áreas o industrias similares
C	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	Possible	Ha ocurrido y en áreas o industrias similares ocurre ocasionalmente; no ha sucedido pero en áreas o industrias similares ocurre frecuentemente
D	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	Probable	Ha ocurrido regularmente
E	10^{-1}	Muy probable	Ha ocurrido con mucha frecuencia

Tabla 2
Clasificación de las consecuencias [8]. (Traducido por los autores)

Nivel	Explicación	Descripción
A	Poca	Sin pérdidas humanas, pocas pérdidas materiales, no mala opinión pública y sin consecuencias políticas
B	Normal	Menos de 3 fallecidos y 10 heridos graves, mitigación con medios locales, pérdidas materiales moderadas, afectación de la opinión pública y sin influencias políticas
C	Grande	Entre 3 y 10 fallecidos o 10 y 50 heridos graves, mitigación por medios externos, grandes pérdidas materiales, mala opinión pública y repercusiones políticas.
D	Importante	Entre 10 y 30 fallecidos o 50 y 100 heridos graves, severas pérdidas materiales, mala opinión pública e influencia política
E	Muy Importante	Más de 30 muertos y de 100 heridos graves, enormes pérdidas materiales, extremadamente mala opinión pública e influencia política

En este marco regulatorio el registro de la información concerniente a las actividades de mantenimiento se realiza a nivel de piezas o agregados y no a nivel de fallos. Esta peculiaridad hace que cualquier estudio sobre el mantenimiento en el transporte automotor requiera un análisis previo antes de aplicarse. Por lo que es necesario adecuar las herramientas preestablecidas en la literatura para compatibilizarlas con las características propias de la entidad objeto de estudio y la forma en que se encuentran compilados la información necesaria.

Aplicación de matrices de riesgo a vehículos de transporte de carga en flotas cubanas

Para conformar estas matrices, de manera general, hay que responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué se evaluará? (fenómeno a estudiar).
- ¿Cómo se evaluará? (factores a estudiar: probabilidad, severidad, consecuencia, etc.).
- ¿Cómo se clasificarán los factores? (categorías de los factores escogidos).
- ¿Cómo se evaluará el riesgo? (niveles de riesgo).

La determinación de fallos críticos es, según lo establecido en la literatura consultada, la forma más acertada para poder establecer jerarquías que permitan mejorar la función mantenimiento. Pero en esta investigación, producto de la manera en que se recopila la información concerniente al mantenimiento, se varía esta metodología. Al no ser posible determinar esos fallos principales se decide jerarquizar entonces las piezas o agregados (en lo adelante elementos) más riesgosos de los vehículos, siendo entonces estos elementos las unidades de análisis a investigar y categorizar.

Esta jerarquización se realiza según la ecuación (1), donde se valora la probabilidad de forma frecuencial, debido al manejo estadístico que se puede realizar del análisis del comportamiento histórico de los fallos. La frecuencia se obtiene a partir de la cantidad de veces que se produce un fallo o avería a un determinado elemento en horizonte de planificación estudiado (1 año).

En las consecuencias también influye la manera en que se controla el mantenimiento en las empresas. Para evaluar este factor se seleccionan las que son posibles de determinar. En esta investigación se valoran entonces las consecuencias no operacionales, a través del cálculo de los costos de los mantenimientos realizados a los elementos que presentaron fallos en el período y de las operacionales las pérdidas relacionadas al tiempo fuera de servicio de los vehículos producto de los fallos. Esta valoración se realiza utilizando las ecuaciones (5)-(8).

Las consecuencias de los fallos de un elemento vienen dadas por la reparación de los fallos y por el tiempo fuera de servicio:

$$\text{Consecuencias} = \sum_{i=1}^n C_{man,i} + \sum_{i=1}^n C_{ind,i} \quad (5)$$

donde:

$C_{man,i}$: Costo del mantenimiento producto de los fallos sufridos por el elemento la i -ésima vez que suceden [\$].

$C_{ind,i}$: Costo asociado a la indisponibilidad generada por el elemento la i -ésima vez [\$].

El costo del mantenimiento de cada elemento tiene dos componentes: el recurso utilizado para el mantenimiento (su cantidad) y el costo de esos recursos, y por el otro lado, el tiempo empleado en la solución y el costo de la mano de obra empleada:

$$C_{man} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (Q_{ji} \cdot C_{rec,j}) + \sum_{i=1}^m (T_i \cdot Sal) \quad (6)$$

donde:

Q_{ji} : Cantidad del j -ésimo recurso utilizado la i -ésima vez para el mantenimiento del elemento [unidades o litros].

$C_{rec,j}$: Costo del j -ésimo recurso [\$/unidades o \$/L].

T_i : Tiempo empleado en el mantenimiento del elemento la i -ésima vez [h].

Sal : Tarifa horaria del obrero correspondiente [\$/h].

El costo derivado de la indisponibilidad del vehículo está asociado a lo que deja de ingresar la empresa por estar el vehículo en mantenimiento, producto al fallo de cada elemento:

$$C_{ind} = \sum_{i=1}^m (T_{ind,i} \cdot b_i) \quad (7)$$

donde:

$T_{ind,i}$: Tiempo de indisponibilidad generado por el elemento la i -ésima vez [h].

b : Efecto económico por el tiempo fuera de servicio.

Este valor b está asociado a los ingresos que generan los vehículos cuando están operativos y los gastos estén operando o no [21] y su cálculo es según (8):

$$b = v_d - v \cdot It_d + F_d \quad (8)$$

donde:

V_d : Ventas promedio por hora resultante de la operación de un vehículo [\$/h].

v : Costo variable unitario de transportación para un vehículo [\$/km].

It_d : Cantidad de kilómetros recorridos como promedio por hora [km/h].

F_d : Costo fijo por hora [\$/h].

La clasificación de la frecuencia y las consecuencias se realizan a partir de 4 clases: *baja*, *media*, *alta* y *muy alta*. Para asegurar que cada elemento sea totalmente clasificado, es decir, que pertenezca a una y solo a una clase, se establecen límites para cada clase. Estas clases se construyen de igual amplitud, tomando como referencia la observación más grande y la más pequeña y dividiendo ese rango entre la cantidad de clases.

Las distintas combinaciones de estas clases generan niveles de riesgo definidos como: *trivial* (TR), *tolerable* (TO), *moderado* (M), *severo* (S) e *intolerable* (I). A los elementos clasificados según estos niveles se les aplican acciones para tratar de disminuir las afectaciones (tabla 3).

Estas acciones deben estar encaminadas a disminuir el factor más influyente en el nivel de riesgo, es decir, a disminuir la *frecuencia* o las *consecuencias*. Si estas acciones son efectivas los elementos *intolerables* deben variar y de manera general deben reducirse los valores máximos tanto de las frecuencias como de las consecuencias.

Determinar los síntomas de los fallos y monitorear su comportamiento. Una agudización de los mismos implica la necesidad de tomar medidas para enfrentar posibles fallos y disminuir sus consecuencias.

RESULTADOS

Los vehículos a los cuales se les realizó el análisis son camiones de carga. Estos camiones tienen como objetivo trasladar mercancías por toda Cuba y para ello tienen implantado un sistema de operación con dos tripulaciones, compuestas cada una por un chofer y un ayudante. En la empresa se operan con dos modelos de camiones con las características que se muestran en la tabla 4.

La cantidad de información que debe ser analizada para la conformación de las matrices es significativa y se observa en la tabla 5.

Este análisis permitió obtener (tabla 6) los datos de entrada necesarios para conformar las matrices de riesgo a partir de evaluar las formulaciones matemáticas expresadas anteriormente.

Tabla 3
Acciones derivadas del nivel de riesgo obtenido

Nivel de Riesgo	Acciones	Observaciones
Intolerable	<p>1. Deben desarrollarse análisis más profundos a estos elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los modos, efectos y consecuencias de los fallos (FMECA) • Analizar causa-raíz <p>Estas metodologías son efectivas ya que permiten identificar los síntomas de los fallos y planificar acciones de mantenimiento precisas</p> <p>2. Establecer estrategias proactivas si son posibles</p> <p>3. Tomar medidas para disminuir también las consecuencias de los fallos</p>	Estos son los elementos más críticos y las acciones deben desarrollarse de manera urgente
Severo	1. Realizar análisis semejantes a los intolerables, pero en un segundo momento, ya que la prioridad es más baja	Elementos de un segundo orden de importancia
Moderado	<p>1. Determinar los síntomas de los fallos y monitorear su comportamiento. Una agudización de los mismos implica la necesidad de tomar medidas para enfrentar posibles fallos y disminuir sus consecuencias.</p> <p>1. Controlar la calidad de las acciones de mantenimiento que se les realiza a estos elementos</p>	
Tolerable	1. Controlar la calidad de las acciones de mantenimiento que se les realiza a estos elementos	
Trivial	No necesitan ninguna atención, por el momento	Elementos de menor importancia

Tabla 4
Características de la flota

	Modelo A	Modelo B
Años de operación	5	3
Tamaño de la flota	39	15
Tara	30 t	30 t

Tabla 5
Información analizada para la creación de las matrices de riesgo

	Modelo A	Modelo B
Expedientes analizados	28	15
Órdenes de trabajo	754	316
Tareas contra averías	1 353	439

Tabla 6
Datos calculados para la conformación de las matrices de riesgo

	Modelo A	Modelo B
Tiempo en taller (Total)	22 176, 11 h	6 163, 2 h
Costos de mantenimiento		
Contra averías	67 571,61 \$	27 713, 82 \$
Efecto económico		
Tiempo fuera de servicio (b)	39,16 \$/h	37,46 \$/h
Elementos con fallos	58	81

En la tabla 7 quedan identificados los 10 elementos más importantes. Estos elementos ordenados según su nivel de riesgo se observan en la figura 2 (todos los demás elementos que completan 58 en el Modelo A y 81 en el Modelo B, también obtuvieron clasificación de *trivial*).

Tabla 7
Elementos riesgosos para ambos modelos de vehículos

Modelo A			Modelo B		
No	Elemento	No	Elemento	No	Elemento
1	Motor de arranque	6	Radiador	1	Embrague
2	Caja de cambios	7	Alternador	2	Bomba embrague
3	Embrague	8	Bomba embrague	3	Zapata trasera
4	Cable acelerador	9	Tensor correa	4	Interruptor alarma
5	Retén ruedas	10	Comutador embrague	5	Motor de arranque
				10	Sensor nivel combustible

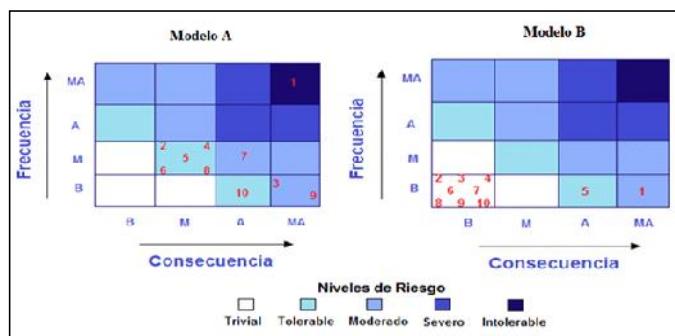


Fig. 2. Matrices de riesgo de los modelos estudiados

DISCUSIÓN

Modelo A

- El elemento más riesgoso fue el motor de arranque, catalogado como *intolerable* (I) debido a la conjunción de la alta frecuencia de ocurrencia de los fallos a este elemento y a una elevada consecuencia producto de los mismos. Esto indica la necesidad de efectuar estudios urgentes más profundos para determinar posibilidades

de mejoras al mantenimiento o a la operación de este elemento. Las alternativas deben ser para disminuir la ocurrencia de estos fallos o buscar maneras más efectivas de enfrentarlos.

- Elementos como *alternador*, *tensor de la correa* y el *embrague* fueron catalogados como de riesgos moderados (M), por lo que deben ser monitoreados ya que tuvieron consecuencias *muy altas* o *altas* aunque con *baja* frecuencia.
- El resto de los elementos estuvieron en la zona de riesgo *tolerable* (TO).

Modelo B

Fueron más los elementos que presentaron fallos.

Solo un elemento mostró una relativamente alta importancia, el *embrague* y fue categorizado como de riesgo *moderado*. Este elemento debe ser monitoreado y sistemáticamente debe analizarse la calidad de las acciones de mantenimiento que recibe.

El otro elemento riesgoso es el *motor de arranque*, el cual tiene una importancia de cuarto nivel debido a su categorización como de riesgo *tolerable*.

En la figura 2 se hace evidente un predominio de elementos en la categoría de trivial (TR) producto tanto a bajas frecuencias de ocurrencia como a bajas consecuencias.

En ambos camiones

Aparece dentro de los elementos más riesgosos el *embrague*. Este elemento tiene tecnologías constructivas distintas en ambos vehículos, lo que pudiera llevar a pensar en problemas a la hora de la operación de los vehículos por parte de los choferes. Esto también convendría estudiarse con mayor detenimiento.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evidenció la posibilidad de emplear la metodología de las matrices de riesgo en empresas transportistas cubanas, pudiéndose adaptar al marco regulatorio existente sin mucha dificultad y de manera efectiva.

Con el estudio realizado se pudo jerarquizar los elementos necesarios para la realización de los mantenimientos contra averías en una flota de camiones a partir del uso de matrices de riesgo. Esta jerarquización permitió identificar los elementos a los que hay que prestársele mayor atención tanto durante el mantenimiento, la operación como en el proceso de planificación de necesidades. Además, permitió establecer acciones para disminuir el nivel de riesgo de dichos elementos.

La posibilidad del uso de esta herramienta de jerarquización sirve como base para la posible utilización de la inspección basada en el riesgo, política de mantenimiento que ha generado buenos resultados en industrias de alto riesgo y que pudiera extrapolarse al sector del transporte en Cuba.

REFERENCIAS

1. MOUBRAY, J. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. 2004, Ed. Aladon Ltd, 424 pp. ISBN: 09539603-2-3.

2. **SITZABEE, W.; M. T., Harnly.** "A Strategic Assessment of Infrastructure Asset-Management Modeling". *Air & Space Power Journal*, noviembre-diciembre 2013, pp. 45-68. Disponible en web: <http://www.airpower.au.af.mil>. [consultado en: 2 de febrero de 2014].
3. **HONGXIA, Xie; LIPING, Shi; HUI, Xu.** "Transformer Maintenance Policies Selection Based on an Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process". *Journal of Computers*. 2013, vol.8, núm.5, pp. 1343-1350. ISSN: 1796203X. Disponible en Web: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=88399579&lang=es&site=ehost-live>. [consultado en: 22 de abril de 2014].
4. **DEL CASTILLO SERPA, Alfredo; FRAGA, Elena; BRITO, Lucía.** "Análisis de criticidad personalizados". *Ingeniería Mecánica*. Septiembre-diciembre 2009, vol. 12, núm.3, pp. 1-12. ISSN: 1815-5944. Disponible en web: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/72/395>. [consultado en: 12 de diciembre de 2013].
5. **SILVESTRI, Alessandro; DE FELICE, Fabio; PETRILLO, Antonella.** "Multi-criteria risk analysis to improve safety in manufacturing systems". *International Journal of Production Research*. 2012, vol. 50, núm.17, pp. 4806-4821. DOI: 10.1080/00207543.2012.657968. Disponible en Web: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=79241971&lang=es&site=ehost-live>. [consultado en: 12 de enero de 2014].
6. **BRAVO BASTIDAS, Juan J.; OREJUELA CABRERA, Juan P.; O.G., Juan Carlos.** "Modelo para la priorización dinámica de despachos de vehículos utilizando el proceso analítico jerárquico". *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 2009, vol. 48, pp. 201-215, ISSN: 0120-6230 Disponible en Web: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/viewArticle/16531> [consultado en: 22 de febrero de 2014].
7. **U. S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE.** "Management Actions Needed to Ensure Effectiveness of DOD's Risk Management Approach for the Defense Industrial Base" [en línea]. U.S. Government Accountability Office, Washington, D.C., USA, [ref 2010]. Disponible en Web: www.gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-07-1077 [consultado en: 2 de octubre de 2014].
8. **JIN, J. S.; ZHAO, Hu Bin.** "Defining the Safety Integrity Level of Public Safety Monitoring System Based on the Optimized Three-dimension Risk Matrix". En *Actas de International Symposium on Safety and Engineering*, 2012, China. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.021.
9. **LEVINE, E. S.** "Improving risk matrices: the advantages of logarithmically scaled axes". *Journal of Risk Research*. 2012, vol. 15, núm. 2, pp. 209-222. ISSN: 1366-9877. Disponible en Web: <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2011.634514> [consultado en: 10 de febrero de 2014].
10. **DUMÉNIGO, C. et al.** "Estudios de casos con la utilización del enfoque de matriz de riesgo para prevenir accidentes en tratamientos de radioterapia". *Nucleus*. 2010, vol. 48, pp. 21-26. Disponible en web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000200005&script=sci_arttext. [consultado en: 7 de marzo de 2014].
11. **TORRES VALLE, A. et al.** "Propuesta metodológica para el análisis de riesgo dentro de los planes de prevención" [en línea]. Disponible en web: http://www.isri.cu/publicaciones/articulos/2012/boletin_0212.pdf. [consultado en: 12 de mayo de 2014].
12. **WAMBEKE, B.; MIN, L.; HSIANG, Simon.** "Using last planner and risk assessment matrix to reduce variation in mechanical related construction task". *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012, vol. 138, núm. 4, pp. 491-498. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000444](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000444). [consultado en: 7 de diciembre de 2014].
13. **U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE.** "Critical Infrastructure Protection. DHS List of Priority Assets Needs to Be Validated and Reported to Congress" [en línea]. U.S. Government Accountability Office, Washington, D. C., USA [ref 2013]. Disponible en web: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=4c52f9c9-7c85-4c4d-abc7-32323753eab6%40sessionmgr113&vid=1&hid=117>. [consultado en: 2 de octubre de 2013].
14. **PARTIDO COMUNISTA DE CUBA.** *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución* [en línea], 2011. Disponible en web: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2011/05/09/descargue-en-cubadebate-los-lineamientos-de-la-politica-economica-y-social-pdf/>. [Consultado en: 7 de enero de 2014].
15. **VILARAGUT LLANES, J. J.; FERRO FERNÁNDEZ, R.; TRONCOSO FLEITAS, M.** "Aplicación de matrices de riesgo para evaluar la seguridad del tratamiento con teleterapia". *Nucleus*. 2006, vol. 39, pp. 48-51. Disponible en web: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail?sid=714696e5-fc84-4c01-a554-99d7d1fb360e%40sessionmgr4004&vid=1&hid=4112&bdat=aJnNpdGU9ZWhvc3QtbGI2ZQ%3d%3d#db=zbh&AN=24713923>. [consultado en: 17 de abril de 2014].
16. **BONET BORJAS, C. M.** "Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad". En *Actas de XI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. 2004, La Habana, Cuba [consultado en: 27 de noviembre de 2013].
17. **RIGOL CARDONA, B.; BATISTA RODRÍGUEZ C.** "Estudio de gastos en insumos de mantenimiento correctivo de las cuñas tractoras en empresa de transporte". *Ingeniería Mecánica*. 2008, vol. 11, núm. 2, pp. 61-66. Disponible en web: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/99/4222013>. [consultado en: 27 de noviembre de 2014].

18. COX, L. A. "What's Wrong with Risk Matrices". *Risk Analysis*. 2008, vol. 28, núm. 2, pp. 497-512. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x. [consultado en: 27 de abril de 2014].
19. PENABAD SANZ, L.; RAMOS, W. "Determinación de las consecuencias de los fallos en vehículos de carga". En *Actas de XVI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, La Habana, Cuba, 2010.

AUTORES

Adrian Carrillo Gálvez

Ingeniero Mecánico, Instructor, Centro de Estudios Matemáticos para las Ciencias Técnicas (CEMAT), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Laksmi Penabad Sanz

Ingeniera Mecánica, Ingeniera Industrial, Máster en Gestión Integral del Transporte, Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento (CEIM), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Use of Risk Matrices to Obtain the Critical Elements in Cuban Vehicles Fleets

Abstract

In this paper the possibility of the use of risk matrices to find the most important spares for the corrective maintenance of vehicles fleets was evaluated. This methodology allows obtain a list of priorities in an easy and understandable way and it is frequently used in high risk industries but unfortunately it's not much spread in Cuba. With these matrices the consequences of the failures suffered by several elements in one year were evaluated. Also a hierarchy for the maintenance actions and strategies of these elements were obtained. This ordered list allows knowing the elements that need more attention and shows to the decision makers which elements are consuming more maintenance resources.

Key words: transport fleets, maintenance, risk matrices