



REVIEW | REVISIÓN

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16118.19522>

Disposición y disponibilidad como indicadores para el transporte

Readiness and availability as indicators in transportation

M.Sc. Laksmi Penabad-Sanz, Dr.C. Arsenio Miguel Iznaga-Benítez, Dr.C Pedro Antonio Rodríguez-Ramos,
Dr.C Caridad Cazañas-Marisy

Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Marianao, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Los indicadores son elementos importantes para evaluar el desempeño de la gestión empresarial en cualquier organización. En Cuba se ha establecido el indicador disposición para evaluar la eficiencia de la explotación de flotas de vehículos. Sin embargo, en publicaciones relacionadas con el tema, algunos autores presentan este indicador de forma similar a la disponibilidad. El estudio de los elementos que definen un indicador: fórmula, índice de referencia, métodos de cálculo para la obtención del valor de las variables y situaciones en las que se emplean en la gestión del mantenimiento, tanto en el nivel de jerarquía de activo de unidad como de flota; permitió establecer las semejanzas y diferencias entre ellos. Se concluye finalmente que la semejanza entre los indicadores de disponibilidad y de disposición es que ambos se refieren al estado en el cual el vehículo funciona cumpliendo con los parámetros requeridos. La diferencia consiste en que la disposición precisa que el medio de transporte se encuentre listo para cumplir una misión que se asigne, o sea, el equipo se encuentre inactivo.

Palabras clave: evaluación del desempeño; disposición; disponibilidad; flotas de transporte; mantenimiento.

ABSTRACT. Indicators are important elements to evaluate the management performance in any organization. Readiness, in Cuba, has been set to assess the efficiency of transportation fleet. However, some authors, in different publications, present readiness, similar to availability. The elements that define an indicator are: formula, reference index, methods to calculate the obtainment of variable values and situations used in maintenance management at the asset hierarchy level of unit and fleet. This allowed the establishment of similarities and differences between these indicators. Finally, it can be summed up that the similarity between readiness and availability lies upon the vehicle functioning conditions, accomplishing the required parameters. The difference, on the other hand, is that readiness indicates that the means of transport is ready to undertake a mission, that is, that the equipment could be idle.

Keywords: performance assessment; readiness; availability; transport fleet; maintenance.

INTRODUCCIÓN

El uso de indicadores es uno de los métodos más empleados en la gestión empresarial. Su uso se basa en la idea de que lo que no puede ser medido no puede ser mejorado (Velimirovic *et al.*, 2011). Išoraite (2005), expresa que la utilización de indicadores tiene mayor impacto en la operación y dirección de las empresas que otras alternativas.

La función mantenimiento tiene asociada un grupo de indicadores que posibilitan tomar decisiones en varios niveles de la organización (Laurențiu, 2012). En el caso de las entidades cubanas operadoras de flotas de transporte, solo emplean un indicador relacionado con el mantenimiento: el coeficiente de disposición técnica (CDT), también denominado coeficiente de buen estado técnico (NC 947: 2013). Al estudiar distintos documentos se observa diversidad en la forma de cálculo y la

INTRODUCTION

The use of indicators is one of the most applied methods in management. Their utilization is based on the idea of what cannot be measured, cannot be improved (Velimirovic *et al.*, 2011). Išoraite (2005), states that the use of indicators has greater impact on the operation and management of enterprises than other alternatives.

Maintenance comprises a set of indicators that allow decision-making at different organizational levels (Laurențiu, 2012). Those Cuban entities that operate transportation fleets use only one indicator related to maintenance: technical readiness coefficient (TRC), according to (NC 947: 2013). After consulting different documents, it can be observed that there is a variety of ways to calculate and interpret the results by using this indicator. Besides, there is a similitude with the

interpretación de los resultados de este indicador. Además se aprecia similitud con el indicador disponibilidad.

En Cuba se ha definido el CDT como un coeficiente que mide la eficiencia en la explotación del parque de vehículos interpretándolo como proporción de vehículos que están técnicamente aptos para el trabajo (NC 947: 2013). Se calcula a través de la relación entre los días disponibles de un vehículo o parque y los días existentes. Este enfoque es usado por Camargo (2011), sin embargo Luna (1982), lo considera uno de los tres coeficientes de fiabilidad para evaluar la estadía en talleres de los equipos. Este autor lo evalúa como la proporción entre el tiempo medio en servicio y los tiempos medios fuera de servicio por acciones de mantenimiento (reparación, mantenimiento preventivo y reparación general), incluyendo el numerador. Esta misma relación, Raña y Castillo (2013), la interpretan como un indicador de desempeño que evalúa la efectividad del mantenimiento técnico en el aseguramiento de la funcionalidad de los vehículos. La relación entre los tiempos medios en servicio y fuera de servicio también se le denomina disponibilidad operacional (Laurențiu, 2012) y se interpreta como la probabilidad de que un sistema, cuando es usado bajo las condiciones definidas en un ambiente operacional real, opere satisfactoriamente en cualquier momento que sea requerido (Altaf *et al.*, 2013).

Bonet *et al.* (2011), calculan el CDT como la proporción entre el tiempo disponible y el fondo de tiempo de los vehículos, interpretándolo como la disposición de los equipos para trabajar en un periodo dado. Esta forma de cálculo se corresponde con la disponibilidad como indicador clave de desempeño en el mantenimiento industrial (Jeong & Phillips, 2001; Mohammadi *et al.*, 2015), interpretándose como la parte del tiempo de trabajo en el que un sistema estuvo en condiciones de cumplir con su función.

El coeficiente de disposición es otra de las formas utilizadas para nombrar este indicador. Bajo este nombre Luna (1982), se refiere a la probabilidad de que un activo esté apto para trabajar en un instante de tiempo cualquiera en el periodo comprendido entre dos mantenimientos planificados. Lo calcula como la relación entre el tiempo medio en servicio o hasta el fallo y la suma de este tiempo y el tiempo medio en reparación o restablecimiento. Esta expresión de cálculo coincide con la que Rigol *et al.* (2008), denominan disponibilidad técnica y Bonet (2010) coeficiente de disponibilidad o fiabilidad. Coincide además con la empleada en el mantenimiento industrial para evaluar la confiabilidad de sistemas (Altaf *et al.*, 2013), bajo el término de disponibilidad inherente. Con respecto a la interpretación del resultado del coeficiente de disposición también se encontraron divergencias. Por ejemplo, Raña y Castillo (2013), coinciden con Luna (1982), en la interpretación pero con respecto a una formulación diferente, mientras que Rigol *et al.* (2008), que utilizan la misma formulación, lo interpretan de manera muy similar al mantenimiento industrial (Melo *et al.*, 2009; Mohammadi *et al.*, 2015).

Los indicadores tienen como propósito, de acuerdo con Krauth *et al.* (2005), el control, la comunicación y la mejora. Vignochi *et al.* (2014), expresa que la creación y estandarización de indicadores posibilita la interacción entre los especialistas, investigadores y decisores. Las diferencias encontradas entre las publicaciones muestran que no hay uniformidad al evaluar e interpretar los distintos

availability indicator.

In Cuba, the TRC has been defined as a coefficient that determines the exploitation efficiency of transportation vehicles as vehicles percentage that is technically suitable for work (NC 947: 2013). This is calculated by taking into account the relationship between the available days of a vehicle and the existing days. Camargo (2011), applies this approach but Luna (1982), considers it as one of the three reliability coefficients to assess the equipment delay in the workshops. The latter thinks that it is the rate of average time in service and the average time out of service due to maintenance (reparation or malfunctioning, preventive maintenance, general reparation), including the numerator.

Raña & Castillo (2013), interpret this relationship as a performing indicator that assesses the effectiveness of the technical maintenance to assure the vehicle functionality. The relationship between the average time in service and the average time out of service is also called operational availability (Laurențiu, 2012) and it is explained as the probability of a system when it is used under specific conditions in a real operational environment and that satisfactorily functions at any required moment (Altaf *et al.*, 2013).

Bonet *et al.* (2011), estimate the TRC as a rate between the available time and the required time for vehicles, as a vehicle working readiness in a given period of time. This corresponds to availability as key performance indicator in industrial maintenance (Jeong & Phillips, 2001; Mohammadi *et al.*, 2015), as the working time where a system was about to fulfill its function.

The readiness coefficient is another way to appoint this indicator. Under this name, Luna (1982), refers to the probability that an asset will be able to work at any given moment in a conceivable period between the two scheduled maintenances. The author calculates the relationship of the mid-time in service or between failures, and the sum of this time and the mid-time in reparation or reestablishment. This calculation coincides with what Rigol *et al.* (2008), call technical availability and Bonet (2010) names it availability coefficient or reliability. It also agrees with the one used in industrial maintenance to assess the reliability of the systems (Altaf *et al.*, 2013), under the term inherent availability. Divergences were also found regarding the interpretation of the results of the readiness coefficient. For example, Raña & Castillo (2013), agree with Luna (1982), on the interpretation but with a different formulation, while Rigol *et al.* (2008), using the same formulation, interpret the result similarly to industrial maintenance (Melo *et al.*, 2009; Mohammadi *et al.*, 2015).

According to Krauth *et al.* (2005), the purpose of indicators is to control, to communicate and to improve the organizational performance. Vignochi *et al.* (2014), state that the creation and standardization of indicators make possible the interaction among specialists, researches and decision-makers. The results of the publications reviewed show that there is no uniformity to evaluate and interpret the different indicators that are

indicadores que se agrupan bajo el término disposición. Las formas de cálculo son similares en algunos casos a las reportadas para la disponibilidad en el mantenimiento industrial. Esta situación no permite establecer con claridad el alcance de cada indicador lo que puede afectar la comunicación e interpretación de resultados. Es por ello que en este trabajo se pretende establecer las semejanzas y diferencias entre ambos indicadores como contribución a una mejor comprensión del alcance de los mismos.

MÉTODOS

Un indicador se conforma a través de una relación de variables que pueden ser evaluadas y tienen vinculación entre sí. Es una medida que expresa resultados en forma de índice numérico Vignochi *et al.* (2014), y está compuesto por un descriptor, una fórmula matemática, el resultado (índice) y un índice de referencia. Por tanto, para la comparación se tuvo en cuenta los elementos que definen un indicador (fórmula, índice de referencia), la interpretación del resultado, métodos de cálculo del valor de las variables y situaciones en las que se emplean relacionadas con la gestión del mantenimiento tanto en el nivel de jerarquía de activo de unidad como de flota. Flota es el término empleado para referirse al conjunto de unidades idénticas (Salman *et al.*, 2007; Wu y Ryan, 2014). Aunque este término es empleado fundamentalmente para referirse a los vehículos, Kinnunen *et al.* (2016), sugieren la ampliación del concepto de flota a población de activos físicos similares como maquinaria o equipos industriales. Por tanto, ambos niveles jerárquicos (unidad y flota) se pueden encontrar al evaluar el mantenimiento en el transporte y en la industria. El propósito de los indicadores es la medición y valoración de alguna cualidad de un objeto. Por lo que primeramente se debe establecer las semejanzas y diferencias entre las cualidades que se pretenden medir: disposición y disponibilidad. Para ello se tuvo en cuenta las distintas definiciones recopiladas de los documentos consultados.

Estos indicadores evalúan eventos con respecto al tiempo, lo cual permite establecer dos categorías: instante y periodo. El instante mide el estado en que se encuentra el evento en un momento determinado, distinguiendo un instante real referido al pasado o el presente y un instante estimado cuando se refiere al futuro. Para el periodo solo se evalúa pasado y futuro. Un periodo pasado es la evaluación del desempeño mientras que para un periodo futuro es el desempeño estimado o esperado.

La disposición

La disposición, de acuerdo con Woropay *et al.* (2008), es la propiedad de los objetos técnicos de alcanzar o mantener oportunamente un estado que le permita ejecutar una tarea. Según estos autores, es útil para analizar sistemas que requieren una rápida respuesta en momentos aleatorios, como la fuerza aérea, servicios de ambulancia y sistemas de transporte. Para Colosi *et al.* (2010), la disposición es la habilidad de usar los recursos para completar exitosamente las tareas asignadas, mientras que Horning *et al.* (2012), la define como la disponibilidad de un vehículo para cumplir con la misión asignada. Sin embargo Verhoeff *et al.* (2015), la aprecia como la capacidad de desempeñar las misiones de vuelo asignadas.

grouped under the term readiness. The ways to calculate them are similar, in some cases, to those reported for availability in industrial maintenance. This situation does not allow having a clear indicator scope and might affect the communication and the interpretation of the results. For this reason, this paper is aimed at presenting the similarities and differences between readiness and availability as a contribution to have a better understanding of their scope.

METHODS

An indicator comprises a relationship of variables that can be evaluated and are related altogether. It is a measure that expresses results in a numerical index Vignochi *et al.* (2014), and it is formed by a descriptor, a mathematical formula, the result (index) and a reference index. Therefore, in order to make the comparison, the elements that define an indicator were taken into consideration: formula, reference index, the interpretation of the results and methods for calculating the values of the variables as well as the situations where these indicators are used in relation to maintenance management both at the hierarchy level of active unit and fleet.

Fleet is the term used to refer to a set of identical units (Salman *et al.*, 2007; Wu & Ryan, 2014). Although this term is mainly used to refer to a set of vehicles; Kinnunen *et al.* (2016), suggest the broadening of the concept fleet related to similar assets machinery or industrial pieces of equipment. Hence, both hierarchy levels (unit and fleet) can be found while evaluating maintenance in transportation and in industry.

The purpose of the indicators is the measurement and assessment of any attribute of an object. So, first, similarities and differences should be established among the attributes that are going to be measured: readiness and availability. Then, different definitions were collected from the documents consulted.

These indicators evaluate events related to time and that allows the establishment of two categories: instant and period. Instant measures the state of the event at a specific moment, distinguishing real instant related to the past or present events, as well as an estimated instant when referring to the future. The period only evaluates the past and the future. A past period evaluates performance, while a future period values an estimated or expected performance.

Readiness

According to Woropay *et al.* (2008), readiness is the quality of technical objects to properly reach or maintain a state to execute a task. These authors state that it is useful to analyze the systems that require a fast response in random moments, such as in the air force, in ambulance services and transport systems.

Colosi *et al.* (2010), think that readiness is the ability to use the resources to successfully accomplish the tasks; Horning *et al.* (2012), on the other hand, define readiness as the availability of a vehicle to fulfill its mission. However, Verhoeff *et al.*

Salman *et al.* (2007), utilizan la disposición promedio (expresada en cantidad de unidades y en porcentaje de la flota) como medida de desempeño en la evaluación del impacto de la canibalización a través de un modelo de simulación y Kravchenko *et al.* (2014), como función objetivo en el desarrollo de un sistema de medición para el control del estado de los neumáticos. Kozanidis *et al.* (2014), calculan la disposición empleando una variable binaria (0,1) en la optimización de los planes de vuelo y mantenimiento en flotas aéreas militares empleando la programación entera mixta. Raña y Castillo (2013), modificaron el índice de eficiencia global (OEE, por sus siglas en inglés) para el transporte empleando la disposición de la flota en lugar del indicador disponibilidad. La Tabla 1 muestra de forma resumida las fórmulas empleadas por estos autores y la interpretación de las formas de evaluación de la disposición.

(2015), consider readiness as the capacity to perform assigned flying missions.

Salman *et al.* (2007), use the average readiness (expressed in amount of units and fleet percentage) as a performance measurement in evaluating the cannibalization impact through a simulation model; Kravchenko *et al.* (2014), analyze readiness as an objective in the development of a measuring system in order to control the tire conditions. Kozanidis *et al.* (2014), calculate readiness by using a binary variable (0, 1) to optimize the flying plans and maintenance of military air fleet utilizing the mixed integer multi-objective linear program. Raña & Castillo (2013), modified the Overall Equipment Effectiveness (OEE) for transport using the fleet readiness instead of availability. Table 1 shows in a concise way the formulae used by these authors and the interpretation of the different ways to evaluate readiness.

TABLA 1. Evaluación de la disposición (D)
TABLE 1. Readiness evaluation (R)

Unit	Formula	Interpretation
Performance	$R = \frac{\sum_{i=1}^I R_i}{I}$	Time rate that the vehicle was ready. Expected time rate that a vehicle will be ready in a period.
Estimated performance	$i: \text{observations in a period } i = 1, 2, \dots, I$	
Real instant	$R = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Ready} \\ 0 \rightarrow \text{Other} \end{cases}$	Vehicle readiness at a specific instant.
Estimated instant	$P(R = 1)$	Vehicle readiness probability at any moment of time.
Fleet		
Performance	$R = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_{ij}}{IJ}$	Average fleet rate that was set to fulfill a task. Expected value of the average fleet readiness for a period.
Estimated performance	$j: \text{vehicle } j = 1, 2, \dots, J$	
Real instant	$R = \sum_{j=1}^J R_j \text{ or } R = \frac{\sum_{j=1}^J R_j}{J}$	Amount of vehicles or fleet rates that are set at a specific moment.
Estimated instant	$R = \frac{\sum_{j=1}^J R_j}{J}$ $P(R \geq R_r)$ $R_r: \text{Required readiness}$	Expected fleet readiness value at a moment. The probability that the fleet readiness would be greater or equal to the required one at any moment.

El índice que se obtiene al evaluar las fórmulas es un valor único en el intervalo [0; 1], aunque en el caso de la estimación del desempeño pueden obtenerse tres (máximo, mínimo y promedio) (Salman *et al.*, 2007). Con respecto al índice de referencia se encuentran cuatro opciones para su identificación: ideal o máximo (igual a 1 o a la cantidad de vehículos de la flota); la disposición requerida (relacionada con cantidad de vehículos necesarios para cumplir un plan de operaciones); el índice estimado; y las buenas prácticas. Los dos primeros (ideal y requerido) son útiles para comparar los índices de todas las formulaciones. El índice estimado es el índice obtenido como resultado de la estimación del desempeño o instantes futuros y es útil para comparar con los resultados reales tanto en instante como en periodo. Las buenas prácticas son índices de referencia relacionados con la evaluación del

The index obtained when evaluating these formulae is a unique value at an interval [0;1], though in the case of the performance assessment, three indexes can be obtained (maximum, minimum and average) according to (Salman *et al.*, 2007). There are four options to identify the reference index: ideal or maximum (equal to 1 or to the amount of vehicles in the fleet); the required readiness (related to the amount of vehicles needed to accomplish the operation plans); the estimated index; and good practices. The first ones (the ideal and the required readiness) are helpful to compare indexes for all formulations. The estimated index is a result of the performance estimation or future instants, and it is useful to make comparisons with the real results, both in instant and in periods. A good practice is a reference index related to

desempeño alcanzado por organizaciones similares y se obtienen a través del Benchmarking (Trompet *et al.*, 2009).

La disponibilidad

La NC-ISO/IEC 2382-14: 2010, define la disponibilidad como “La habilidad de una unidad funcional para estar en un estado para realizar una función requerida bajo las condiciones dadas en un instante dado de tiempo o sobre un espacio de tiempo dado, asumiendo que los recursos externos requeridos son provistos”. Para Tsarouhas (2012), es la habilidad de un elemento de cumplir con su función en un determinado instante de tiempo o en determinado periodo de tiempo y lo mide como la probabilidad de que el elemento se encuentre en un estado sin fallo, definiendo el estado como una variable binaria (0 o 1).

El cálculo de la probabilidad de operar satisfactoriamente en un instante cualquiera se utiliza como parte de los estudios de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM, por sus siglas en inglés) para la selección o mejoramiento de las estrategias de mantenimiento (Altaf *et al.*, 2013; Khorshidi *et al.*, 2015), entre las que están la optimización de la periodicidad de la inspección (Rai y Bolia, 2014), la gestión de repuestos y la optimización de las estrategias de reemplazo (Mohammadi *et al.*, 2015) o el tiempo de reparación límite (Suhir, 2013). Rai y Bolia (2014), lo emplean como criterio para la clasificación de los componentes de los aviones en componentes de alto índice de fallos. También está presente como parte integrante de otros indicadores complejos como el índice RAM (Garg *et al.*, 2012). Esta probabilidad se calcula atendiendo al alcance de los tiempos de indisponibilidad considerados. La disponibilidad inherente se relaciona con los atributos propios del sistema asumiendo que opera bajo condiciones ideales, incluye solamente las pérdidas de tiempo debidas a la reparación (Altaf *et al.*, 2013; Rai y Bolia, 2014) y se emplea para descartar aquellos factores fuera del control del diseñador (Mohammadi *et al.*, 2015). La disponibilidad alcanzada extiende el cálculo al tiempo empleado en acciones preventivas y la disponibilidad operacional a todo el tiempo fuera de servicio (Laurențiu, 2012; Mărăscu, 2013). Esta última parece ser más apropiada para el ajuste de las estrategias mantenimiento ya que considera el contexto real de operación. Los métodos empleados para el cálculo son la simulación (por el método de Montecarlo fundamentalmente) o la aplicación de técnicas analíticas como los modelos de Markov (Dekke y Groenendijk, 1995). Garg *et al.* (2012), enumeran un grupo de técnicas empleadas y expresan que la lógica difusa permite obtener mejores resultados.

La estimación de la disponibilidad en un periodo cualquiera se ha empleado en la modelación de la influencia en la disponibilidad de las flotas de las decisiones de mantenimiento (Horning *et al.*, 2012). También se ha empleado en el diseño de la configuración del sistema teniendo en cuenta las condiciones de operación y mantenimiento de los clientes (Lad y Kulkarni, 2013) y en la optimización del mantenimiento preventivo empleando algoritmos genéticos multiobjetivos (Adhikary *et al.*, 2016).

La estimación de la disponibilidad en un periodo cualquiera se ha empleado en la modelación de la influencia en la disponibilidad de las flotas de las decisiones de mantenimiento (Horning *et al.*, 2012). También se ha empleado en el diseño de la configuración del sistema teniendo en cuenta las condiciones de

the performance evaluation achieved by similar organizations and is obtained through Benchmarking (Trompet *et al.*, 2009).

Availability

NC-ISO/IEC 2382-14: 2010, defines availability as: *The ability of a functional unit to be in a state to perform a required function under given conditions at a given time instant or in a given time space, assuming that the external required resources are supplied.* Tsarouhas (2012), considers that availability is the ability of an element to fulfill its function at a specific instant of time or at a specific period of time and is measured as the probability of the element being in a state without failure, defining the state as a binary variable (0 or 1).

The estimate of the probability to satisfactorily operate at any moment is used in studies of Reliability, Availability and Maintainability (RAM) for the selection and improvement of maintenance strategies (Altaf *et al.*, 2013; Khorshidi *et al.*, 2015), among them are optimization of the time between overhauls (Rai & Bolia, 2014), spare parts management and the optimization of the replacement strategies (Mohammadi *et al.*, 2015) or the time limit for reparation (Suhir, 2013). Rai & Bolia (2014), use the estimate of the probability as a criterium to classify the aircraft components in high rate failure components. Besides, it is part of other complex indicators as index RAM (Garg *et al.*, 2012). This probability is estimated by taking into account the scope of the unavailable times considered. The inherent readiness is related to the system own attributes regarding that it operates under ideal conditions which includes only the losses of time due to reparation (Altaf *et al.*, 2013; Rai & Bolia, 2014) and is used to exclude those factors that are out of the designer's control (Mohammadi *et al.*, 2015). The achieved availability widens the calculus to the time used for preventing actions and the operational availability broadens it to all the time out of service (Laurențiu, 2012; Mărăscu, 2013). The latter seems to be more appropriate to fit the maintenance strategies because it considers the real operational context. The methods used for calculating are simulations (mainly Monte Carlo's method) or the application of analytic techniques such as the Markov models (Dekke & Groenendijk, 1995). Garg *et al.* (2012), enumerate a set of techniques and state that the fuzzy logic permits to obtain better results.

The evaluation of availability at any moment has been used in modeling to assess the maintenance decision influence in the fleet availability (Horning *et al.*, 2012). This way to calculate availability has also been used in the design of the system configuration, taking into consideration the client's operation and maintenance conditions (Lad & Kulkarni, 2013) as well as in the preventive maintenance optimization which makes use of multi-objective genetic algorithms (Adhikary *et al.*, 2016).

operación y mantenimiento de los clientes (Lad y Kulkarni, 2013) y en la optimización del mantenimiento preventivo empleando algoritmos genéticos multiobjetivos (Adhikary *et al.*, 2016).

Disponibilidad operacional se le denomina también a la proporción del tiempo en el que un equipo o sistema operó en condiciones satisfactorias (Laurențiu, 2012; Mohammadi *et al.*, 2015). Se emplea como parte de la gestión del mantenimiento y la comparación con otros sistemas similares (Tonetto *et al.*, 2013) lo que mejora la eficiencia del mantenimiento y disminuye los costos (Carazas y De Souza, 2009). La forma de cálculo de la disponibilidad desde el enfoque de evaluación de desempeño se emplea además como parte de índices complejos en la evaluación del progreso en la implementación de la filosofía TPM, por ejemplo, el OEE (Samat *et al.*, 2011; Laurențiu, 2012; Jain *et al.*, 2015), el OTE (Muthiah y Huang, 2007); el OLE (Nachiappan y Anantharaman, 2006), y el TEEP (Zandieh *et al.*, 2012).

Mohammadi *et al.* (2015), plantean que existen inconsistencias a la hora de considerar el alcance del intervalo de tiempo en análisis, ya que algunos emplean el calendario y otros el tiempo requerido (referido al fondo de tiempo planificado). El tiempo analizado puede expresarse en función del tiempo fuera de servicio o indisponible, lo que significa la posibilidad de expresar matemáticamente este indicador de cinco formas. Si se tiene en cuenta que en el caso de las flotas de transporte obtener el tiempo fuera de servicio es más fácil que el tiempo disponible y que el tiempo requerido es igual al calendario cuando las flotas operan en régimen continuo, entonces es más apropiado emplear la expresión matemática que relaciona el tiempo fuera de servicio y el tiempo requerido. Esta vía es la empleada por Tonetto *et al.* (2013) para el análisis técnico de la transportación de madera con diferentes composiciones vehiculares.

La Tabla 2 resume las fórmulas de empleadas para el cálculo de la disponibilidad en el marco de la gestión del mantenimiento, así como su interpretación. La evaluación de la fórmula permite arribar a un valor único en el intervalo [0;1], aunque en el caso de la estimación del desempeño pueden obtenerse tres (máximo, mínimo y promedio) (Kozanidis *et al.*, 2014). El índice de referencia para la comparación y valoración del índice obtenido pueden ser el ideal o máximo (1 o *n* en flotas) en todos los casos. Particularmente en la evaluación del desempeño se pueden encontrar además el índice estimado, el requerido y las buenas prácticas.

Operational availability is also referred to the period of time rate in which the equipment or system was operating in an adequate state (Laurențiu, 2012; Mohammadi *et al.*, 2015). It is applied as part of maintenance management and in comparison with other similar systems (Tonetto *et al.*, 2013) which improve maintenance efficiency and lower the costs (Carazas & De Souza, 2009). Calculating availability from the performance evaluation approach is also utilized in the evaluation of the TPM philosophy implementation progress as part of complex indexes, for example, the OEE (Samat *et al.*, 2011; Laurențiu, 2012; Jain *et al.*, 2015), the OTE (Muthiah & Huang, 2007); the OLE (Nachiappan & Anantharaman, 2006), and the TEEP (Zandieh *et al.*, 2012).

Mohammadi *et al.* (2015), state that there are contradictions regarding the scope of time interval in the analysis, as some specialists use the calendar and others the required time (referred to outlined time). The analyzed time can be expressed considering the time out of service or unavailable, which means the possibility to express mathematically the operational availability in five different ways. If we take into account that in the case of the transport fleets, the obtainment of time out of service is easier than the available time and that the required time is equal to the calendar when the fleets operate in a continuous regime, then it is more appropriate to use the mathematical expression that relates time out of service and the required time. This is the way used by Tonetto *et al.* (2013) to make technical analysis with different vehicular compositions for wood transportation.

Table 2 sums up the formulae used to calculate the availability in maintenance management and its explanation. The evaluation of the formula allows to reach to a unique value in the interval [0;1], although when calculating the performance, three values can be obtained (maximum, minimum and average) (Kozanidis *et al.*, 2014). The reference index for comparing and assessing the index obtained can be the ideal or the maximum (1 or *n* in fleets) for all cases. Especially, when evaluating performance, the estimated rate, the required rate and good practices can be found.

TABLA 2. Evaluación de la disponibilidad (A)
TABLE 2. Availavility evaluation (A)

Unit	Formula	Interpretation
Performance	$A = \frac{T - T_{DR}}{T}$	Part of the time in which the unit was available.
Estimated Performance	<i>T</i> : Equipment time available (h) : Equipment downtime (h)	Estimated rating of any required period of time where the equipment will be available.
Real instant	$A = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Available} \\ 0 \rightarrow \text{other} \end{cases}$ $A = \frac{MTBF}{MTBF - MDT}$	Equipment availability at a specific moment
Estimated instant	<i>MTBF</i> : Mean time between failures (h) <i>MDT</i> : Mean downtime (h)	The probability that the equipment will be available at any time.

Unit	Formula	Interpretation
Fleet		
Performance	$A = \frac{nT - \sum_{i=1}^n T_{fs_i}}{nT}$	Required time rating where the set of equipment was available.
Estimated performance	$i: \text{equipment } i = 1, 2, \dots, n$	Estimated rating of required time where the set of equipment will be available at any period.
Real instant	$A = \sum_{i=1} A_i \text{ o } A = \frac{\sum_{i=1}^i A_i}{I}$	Amount of equipment or rate of them that are available at a specific moment.
Estimated instant	$A = \frac{MTBF}{MTBF - MDT}$	The probability that the equipment of the fleet will be available at any moment.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis comparativo de las definiciones mostradas revela que tanto la disponibilidad como la disposición se refieren al estado en el cual el vehículo funciona cumpliendo con los parámetros requeridos. La disposición precisa además estar listo para cumplir una misión que se asigne, o sea, el equipo se encuentra inactivo. Por tanto, si un vehículo se encuentra en un estado disponible (o funcionamiento) y trabajando no se encuentra listo para la asignación de una misión estando en la condición de no dispuesto. Por ejemplo: la disposición de la flota es la cantidad de vehículos que están disponibles pero que no están trabajando. Por lo que, bajo esta interpretación se puede relacionar la disponibilidad y la disposición como muestra la Figura 1.

RESULTS AND DISCUSSION

The comparative analysis of the definitions presented shows that both availability and readiness refer to the state in which the vehicle functions accomplishing with the required parameters. Readiness also demands that the equipment is ready to fulfill a mission, i.e. the equipment is idle. So, if a vehicle is in an available state (or functioning) and working, it is not ready to fulfill a mission, being in an unready state. For example, the fleet readiness is the amount of vehicles that are available but are not working. Thus, this explanation can relate availability and readiness as it is shown in Figure 1.

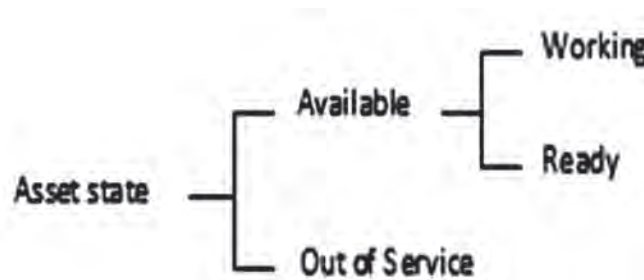


FIGURA 1. Relación entre la disponibilidad y la disposición.
 FIGURE 1. Relationship between availability and readiness.

El indicador disponibilidad es más apropiado para evaluar el desempeño del mantenimiento de vehículos de transporte si se tiene en cuenta que entre los objetivos del mantenimiento se encuentra, en primer lugar, garantizar la funcionalidad (Nowakowski *et al.*, 2015). Mientras que el indicador disposición es más útil a la hora de organizar las transportaciones. La declaración de la cualidad medida por los indicadores permite establecer criterios comunes en el ámbito académico, posibilitando una mejor comprensión del tema.

El análisis comparativo respecto al resto de los componentes de los indicadores posibilitó apreciar que:

La **formulación** en la evaluación de la disposición (Tabla 1) y la disponibilidad (Tabla 2) para un instante real es la misma tanto en el nivel jerárquico de unidad como de flota. También se observan semejanzas en el interés de calcular probabilidades para instantes futuros. No es igual para la evaluación del desempeño, ya que la disposición es una medida instantánea por lo que al referirse a un periodo de tiempo se calcula promediando las evaluaciones instantá-

Availability is considered to be more appropriate to evaluate the vehicle maintenance performance, if we take into account that one of the aims of maintenance is, first, to guarantee functionality (Nowakowski *et al.*, 2015). while readiness is more useful to organize transportations. The statement of quality that is measured by the indicators enables establishing common criteria in an academic environment making possible a better understanding of the subject matter.

The comparative analysis concerning the rest of the indicators' components made possible to estimate that:

The **formulation** in evaluating readiness (Table 1) and availability (Table 2) for a real moment is the same for the unit hierarchical level and for the fleet. Similarities are also observed to calculate probabilities for future moments. It is not the same when evaluating performance because readiness is an instant measure. So, when referring to a period of time, readiness is calculated by averaging instant evaluations made in a period, which is different from

neas realizadas en el periodo, a diferencia de la disponibilidad, en la que se determinan los intervalos de tiempo en estado disponible y se calcula la proporción con respecto al intervalo de tiempo estudiado.

Los **índices** se mueven en un intervalo entre 0 y 1 en ambos indicadores. Sus resultados son iguales ($A = D$) cuando la cantidad de unidades trabajando es 0, o la unidad de tiempo empleada es el día -como sucede en la evaluación de flotas cubanas. La cantidad de equipos trabajando suele ser 0 en el instante en el que todas las unidades disponibles se encuentran en espera de la asignación de la tarea, como en el caso de las flotas aéreas de combate (Costantino *et al.*, 2013) [6]La coincidencia en los resultados de ambos indicadores en estas situaciones específicas no puede ser extrapolada a otras. Esto podría estar entre las causas de las diferencias formas en las que los autores se refieren a la disposición y que fueron presentadas en la introducción.

Los tipos de **índices de referencia** coinciden en ambos indicadores. El índice ideal o máximo (1 o la cantidad de unidades en el nivel jerárquico de flota) es útil para la valoración de los resultados de las forma de evaluación mostradas en la Tabla 1 y en la Tabla 2. En el caso del indicador disposición el índice requerido resulta muy importante al estar asociado al plan de transportación para satisfacer la demanda. No obstante, también se ha empleado este índice en la valoración de la disponibilidad de flotas aéreas (Costantino *et al.*, 2013) y en la determinación de la criticidad de sus componentes (Rai y Bolia, 2014).

Los métodos para el cálculo de las variables presentes en las fórmulas son los mismos: recolección de datos en la evaluación del desempeño; la evaluación del estado en los instantes reales; así como en el empleo de distintas variantes de simulación, programación, técnicas analíticas e inteligencia artificial en la estimación de comportamientos futuros. También se aprecia similitud en la utilidad de los indicadores para la gestión del mantenimiento: evaluar el desempeño de la función mantenimiento; estimar la influencia de distintas estrategias de mantenimiento; la optimización del mantenimiento y sus recursos; la asignación de la carga de trabajo, así como en la presencia en otros indicadores complejos como el OEE.

Se corrobora el predominio del indicador disponibilidad sobre la disposición en las publicaciones científicas revisadas, no así en las relacionadas con el transporte donde se emplean indistintamente. No obstante, varios autores coinciden en que la medida de la disposición es más apropiada que la disponibilidad para estudiar flotas de transporte.

CONCLUSIÓN

- La semejanza entre los indicadores de disponibilidad y de disposición es que ambos se refieren al estado en el cual el vehículo funciona cumpliendo con los parámetros requeridos. La diferencia entre ambos se concreta en que la disposición precisa que el medio de transporte o flota se encuentre listo para cumplir una misión que se asigne, o sea, que el equipo se encuentre inactivo. El desempeño del mantenimiento en el transporte debe ser evaluado a través del indicador disponibilidad ya que expresa el estado de funcionamiento del activo lo cual posibilita la interacción entre especialistas e investigadores en los estudios de este tema. Ambos indicadores son igualmente importantes para el cumplimiento de una estrategia trazada por la empresa. Aunque debe prestarse mayor atención al índice requerido para el indicador disposición debido a que está asociado al plan de transportación para satisfacer la demanda.

availability, where time intervals in the available state are determined and the rating in relation to the time interval analyzed is calculated.

Indexes range from 0 and 1 in both indicators. Their results are equal to ($A = D$) when the amount of working units is 0, or the unit of time used is the day, as it happens when evaluating the Cuban fleets. The amount of working equipment could be 0 at a moment in which all available units are waiting for a task, as it is the case of the fighter aircrafts (Costantino *et al.*, 2013). Results coincidences for both indicators in specific situations cannot be transferred to other situations. This could be one of the causes for the different ways authors refer to readiness as it was presented in the introduction of this paper.

The types of **reference index** coincide with both indicators. The ideal or maximum index (0 or the amount of units at the fleet hierarchical level) is useful in order to assess the results about evaluation shown in Tables 1 and 2. Concerning readiness, the required index is very important because it is associated to the transportation plan to meet the demand. Nevertheless, this index has also been used to assess the availability of aircraft fleets (Costantino *et al.*, 2013) and it has been used to determine the components criticality (Rai & Bolia, 2014).

The **methods** to calculate the variables present in the formulae are the same: data collection to evaluate the performance; evaluation of state for real instants; the use of a variety of simulation; programming; analytical techniques and artificial intelligence to estimate further behaviors. Similarity in the usefulness of the indicators for maintenance management can be noted: to evaluate the function of maintenance performance; to value the influence of the different maintenance strategies; to evaluate the optimization of maintenance and its resources; to estimate the working load; and the presence of other complex indicators as OEE.

The predominance of the indicator availability over readiness in the scientific publications consulted is confirmed; it is not the same with those related with transport, where the terms are used indistinctly. However, various authors agree on the fact that readiness is more appropriate than availability to study transport fleet.

CONCLUSION

- The similarity between the indicators availability and readiness lies on the fact that both refer to the state in which the vehicle is functioning, accomplishing with the required parameters. The difference between them is that readiness demands that the means of transport or fleet will be ready to fulfill a specific mission, that is, that the equipment will be idle. Transport maintenance performance should be evaluated through the availability indicator because it shows the active state functioning that makes possible the interaction between specialists and researchers on this matter. Both indicators are equally important for the fulfillment of a strategy depicted by the enterprise. Much more attention should be paid to the required rate for readiness because it is associated to a transportation plan so as to meet the demands.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIKARY, D.D.; BOSE, G.K.; JANA, D.K.; BOSE, D.; MITRA, S.: "Availability and cost-centered preventive maintenance scheduling of continuous operating series systems using multi-objective genetic algorithm: A case study", *Quality Engineering*, 28(3): 352-357, 2 de julio de 2016, ISSN: 0898-2112, 1532-4222, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/08982112.2015.1086001>
- ALTAF, J.M.; UDAIAPPAN, M.; KUMAR, T.T.; SRINIVASAN, S.: "Reliability Availability and Maintainability Study: A Business Perspective", *International Journal of Performability Engineering*, 9(4): 445-454, 2013, ISSN: 0973-1318.
- BONET, B.C.M.: *Fiabilidad aplicada al transporte*, Ed. CUJAE, La Habana, Cuba, 2010, ISBN: 978-959-261-319-5.
- BONET, C.M.; BASTÉ, J.; AGUILAR, N.: *Diseño de instalaciones*, Ed. CUJAE, La Habana, Cuba, 2011, ISBN: 978-959-261-364-5.
- CAMARGO, J.: "Principales indicadores para la explotación del transporte automotor de cargas", *Transporte Desarrollo y Medio Ambiente*, 31(1): 19-24, 2011, ISSN: 1025-4838.
- CARAZAS, F.J.G.; DE SOUZA, G.F.M.: "Availability analysis of gas turbines used in power plants", *International Journal of Thermodynamics*, 12(1): 28-37, 2009, ISSN: 1301-9724.
- COLOSI, L.; ROTHROCK, L.; BARTON, R.; BANKS, J.; REICHARD, K.: "Effects of Personnel Availability and Competency on Fleet Readiness", [en línea], En: *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*, Ed. Defense Technical Information Center, OCLC: 713662306, 2010, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266068782_Effects_of_Personnel_Availability_and_Compentency_on_Fleet_Readiness, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].
- COSTANTINO, F.; DI GRAVIO, G.; TRONCI, M.: "Multi-echelon, multi-indenture spare parts inventory control subject to system availability and budget constraints", *Reliability Engineering & System Safety*, 119: 95-101, noviembre de 2013, ISSN: 0951-8320, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2013.05.006>
- DEKKE, R.; GROENENDIJK, W.: "Availability assessment methods and their application in practice", *Microelectronics Reliability*, 35(9-10): 1257-1274, septiembre de 1995, ISSN: 0026-2714, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714\(95\)99376-T](http://dx.doi.org/10.1016/0026-2714(95)99376-T).
- GARG, H.; RANI, M.; SHARMA, S.P.: "Fuzzy RAM Analysis of the Screening Unit in a Paper Industry by Utilizing Uncertain Data", *International Journal of Quality, Statistics, and Reliability*, 2012: 1-14, 2012, ISSN: 1687-7144, 1687-7152, DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/203842>.
- HORNING, S.; LEUNG, P.; FITZGERALD, A.; MRAD, N.: "Operational Readiness Simulator: Optimizing Operational Availability Using a Virtual Environment", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2012: 1-8, 2012, ISSN: 1687-5966, 1687-5974, DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/425075>.
- IŞORAITE, M.: "Analysis of transport performance indicators", *Transport*, 20(3): 111-116, 1 de enero de 2005, ISSN: 1648-4142, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/16484142.2005.9638006>.
- JAIN, A.; BHATTI, R.S.; SINGH, H.: "OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(5): 503-516, 5 de mayo de 2015, ISSN: 0265-671X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-05-2013-0088>.
- JEONG, K.Y.; PHILLIPS, D.T.: "Operational efficiency and effectiveness measurement", *International Journal of Operations & Production Management*, 21(11): 1404-1416, noviembre de 2001, ISSN: 0144-3577, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/EUM00000000006223>.
- KHORSHIDI, H.A.; GUNAWAN, I.; IBRAHIM, M.Y.: "Reliability centered maintenance using system dynamics approach", [en línea], En: *International Conference on Industrial Technology*, Ed. IEEE, pp. 1932-1936, marzo de 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125379>, ISBN: 978-1-4799-7800-7, Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7125379>, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].
- KINNUNEN, S.K.; MARTTONEN, A.S.; YLÄ, K.A.; KÄRRI, T.; AHONEN, T.; VALKOKARI, P.; BAGLEE, D.: "Decision Making Situations Define Data Requirements in Fleet Asset Management", [en línea], En: Koskinen, K.T.; Kortelainen, H.; Aaltonen, J.; Uusitalo, T.; Komonen, K.; Mathew, J. y Laitinen, J. (eds.), *X World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2015)*, Ed. Springer International Publishing, Cham, pp. 357-364, 2016, ISBN: 978-3-319-27062-3, Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-27064-7_33, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].
- KOZANIDIS, G.; GAVRANIS, A.; LIBEROPOULOS, G.: "Heuristics for flight and maintenance planning of mission aircraft", *Annals of Operations Research*, 221(1): 211-238, octubre de 2014, ISSN: 0254-5330, 1572-9338, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-013-1376-6>.
- KRAUTH, E.; MOONEN, H.; POPOVA, V.; SCHUT, M.: "Performance indicators in logistics service provision and warehouse management – a literature review and framework", [en línea], En: *XII International EurOMA Conference on Operational and Global Competitiveness*, Ed. European Operations Management Association, Budapest, Hungary, 2005, ISBN: 963-218-455-6, Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Hans_Moonen/publication/228896188_Performance_indicators_in_logistics_service_provision_and_warehouse_management-a_literature_review_and_framework/links/00b7d529d84a8cdcee000000.pdf, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].
- KRAVCHENKO, A.; SAKNO, O.; LUKICHOV, A.: "Trucks tires resource controlling by control of process of their wearing-out", *Transport Problems*, 9(1): 83-93, 2014, ISSN: 1896-0596.
- LAD, B.K.; KULKARNI, M.S.: "Reliability and Maintenance Based Design of Machine Tools", *International Journal of Performability Engineering*, 9(3): 321-332, 2013, ISSN: 09731318.
- LAURENȚIU, A.M.: "Performance indices for the maintenance process", *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 10(2): 78-83, 2012, ISSN: 1583-7904.
- LUNA, H.: *Explotación técnica de automóviles*, Ed. Enspes, La Habana, Cuba, 243 p., 1982.
- MĂRĂSCU, K.V.: "Methods of Increasing Machine Availability", *Review of Management & Economic Engineering*, 12(1): 11-16, 2013, ISSN: 1583-624X.
- MELO, G.R.; LARA, H.C.; JACOBO, G.F.: "Estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería", *Tecnología, Ciencia, Educación*, 24(2): 93-104, 2009, ISSN: 0186-6036.
- MOHAMMADI, M.; RAI, P.; GUPTA, S.: "Performance Measurement of Mining Equipment", *International Journal of Emerging Technology*

and Advanced Engineering, 5(7): 240-248, 2015, ISSN: 2250-2459.

MUTHIAH, K.M.N.; HUANG, S.H.: "Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection", *International Journal of Production Research*, 45(20): 4753-4769, 15 de octubre de 2007, ISSN: 0020-7543, 1366-588X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540600786731>.

NACHIAPPAN, R.M.; ANANTHARAMAN, N.: "Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7): 987-1008, octubre de 2006, ISSN: 1741-038X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/17410380610688278>.

NOWAKOWSKI, T.; TUBIS, A.; WERBIŃSKA, W.S.: "Maintenance Decision Making Process – A Case Study of Passenger Transportation Company", [en línea], En: Zamojski, W.; Mazurkiewicz, J.; Sugier, J.; Walkowiak, T. y Kacprzyk, J. (eds.), *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability*, Ed. Springer International Publishing, vol. 365, Cham, pp. 305-318, 2015, ISBN: 978-3-319-19215-4, Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-19216-1_29, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Tecnologías de la información — vocabulario — parte 14: Fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad*, no. NC-ISO/IEC 2382-14, La Habana, Cuba, 2010.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Transporte automotor—servicio de transportación de pasajeros y cargas—términos, definiciones, símbolos y métodos de cálculo*, no. NC 947, La Habana, Cuba, 2013.

RAI, R.N.; BOLIA, N.: "Availability based Optimal Maintenance Policies in Military Aviation", *International Journal of Performability Engineering*, 10(6): 641-648, 2014, ISSN: 0973-1318.

RAÑA, L.D.A.; CASTILLO, O.: *Procedimiento para la evaluación y selección de vehículos automotores (PESOVA)*, Ed. Ceim, La Habana, Cuba, 2013, ISBN: 978-959-261-419-2.

RIGOL, C.B.; HIDALGO, B.E.; BATISTA, R.C.: "El impacto de las fallas en los sistemas de los vehículos de transporte de carga, en la disponibilidad técnica de una gran empresa transportista de carga de la ciudad de Holguín.", *Ciencias Holguín*, 14(3): 1-11, 2008, ISSN: 1027-2127.

SALMAN, S.; CASSADY, C.R.; POHL, E.A.; ORMON, S.W.: "Evaluating the impact of cannibalization on fleet performance", *Quality and Reliability Engineering International*, 23(4): 445-457, junio de 2007, ISSN: 0748-8017, 1099-1638, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/qre.826>.

SAMAT, H.A.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I.A.: "Maintenance performance measurement: a review", *Pertanika Journal of Science & Technology*, 19(2): 199-211, 2011, ISSN: 0128-7680.

SUHIR, E.: "How long could/should be the restoration time for high availability?", *Modern Physics Letters B*, 27(23), 10 de septiembre de 2013, ISSN: 0217-9849, 1793-6640, DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217984913501662> Disponible en: <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217984913501662>, [Consulta: 16 de septiembre de 2016].

TONETTO, A.R.; CESAR, F.N.; NEIRE, da S.E.; DA SILVA, L.E.; DE ASSIS, do C.F.C.: "Análise técnica e de custos do transporte de madeira com diferentes composições veiculares", *Revista Árvore*, 37(5): 897-904, octubre de 2013, ISSN: 0100-6762, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000500012>.

TROMPET, M.; ANDERSON, R.; GRAHAM, D.: "Variability in Comparable Performance of Urban Bus Operations", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2111: 177-184, diciembre de 2009, ISSN: 0361-1981, DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/2111-20>.

TSAROUHAS, P.: "Reliability, availability and maintainability analysis in food production lines: a review", *International Journal of Food Science & Technology*, 47(11): 2243-2251, noviembre de 2012, ISSN: 0950-5423, DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03073.x>.

VELIMIROVIC, D.; VELIMIROVIC, M.; STANKOVIC, R.: "Role and importance of key performance indicators measurement", *Serbian Journal of Management*, 6(1): 63-72, 2011, ISSN: 1452-4864, DOI: <http://dx.doi.org/10.5937/sjm1101063V>.

VERHOEFF, M.; VERHAGEN, W.J.C.; CURRAN, R.: "Maximizing Operational Readiness in Military Aviation by Optimizing Flight and Maintenance Planning", *Transportation Research Procedia*, 10: 941-950, 2015, ISSN: 2352-1465, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.048>.

VIGNOCHI, L.; GONÇALO, C.R.; ROJAS, L.Á.G.: "Como gestores hospitalares utilizam indicadores de desempenho?", *Revista de Administração de Empresas*, 54(5): 496-509, 1 de enero de 2014, ISSN: 2178-938X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020140504>.

WOROPAY, M.; MIGAWA, K.; WDZIECZNY, A.: "Transport system readiness determined on the basis of Markov model of an operation and maintenance process", *Systems Science*, 34(3): 61-66, 2008, ISSN: 0137-1223.

WU, X.; RYAN, S.M.: "Joint Optimization of Asset and Inventory Management in a Product–Service System", *The Engineering Economist*, 59(2): 91-115, 3 de abril de 2014, ISSN: 0013-791X, 1547-2701, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0013791X.2013.873844>.

ZANDIEH, S.; TABATABAEI, S.A.N.; GHANDEHARY, M.: "Evaluation of Overall Equipment Effectiveness in a Continuous Process Production System of Condensate Stabilization Plant in Assalooeyeh", *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, 3(10): 590, 2012, ISSN: 2073-7122.

Received: 25/11/2015.

Approved: 08/07/2016.

Laksmi Penabad-Sanz, Prof., Universidad Tecnológica de La Habana (UTH) "José Antonio Echeverría", Marianao, La Habana, Cuba. E-mail: laksmi@mecanica.cujae.edu.cu

Arsenio Miguel Iznaga-Benítez, E-mail: laksmi@mecanica.cujae.edu.cu

Pedro Antonio Rodríguez-Ramos, E-mail: laksmi@mecanica.cujae.edu.cu

Caridad Cazañas-Marisy E-mail: laksmi@mecanica.cujae.edu.cu