



Maintenance Based on World Class Indicators in Bayamo Dairy Factory

El mantenimiento a partir de los indicadores de clase mundial en la fábrica Lácteos Bayamo

Ing. Julio César Casaña-Medel^{I*}, Dr.C. Alain Ariel de la Rosa-Andino^I, Dr.C. Idalberto Macías-Socarrás^{II} Dr.C. Yoandrys Morales-Tamayo^{III}, MSc. Yusimit Karina Zamora-Hernandez^I, MSc. Yordanka Aguilera-Corrales^{IV}

^I Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Bayamo, Granma, Cuba.

^{II} Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad-Santa Elena, Ecuador.

^{III} Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Dpto. Ingeniería Electromecánica, Extensión La Maná, Ecuador.

^{IV} Universidad de Granma, Facultad de Humanidades, Manzanillo, Granma, Cuba.

ABSTRACT. Researchers in the discipline of maintenance refer more than 110 indicators or variables to assess the management of this activity, which are classified mainly into three groups: absolute indicators, efficiency indicators and effectiveness indicators. In the particular case of Cuba, maintenance management is performed on a single indicator basis: the technical availability coefficient, which does not allow knowing the true behavior of the machines. Due to this, the present investigation is carried out with the objective of evaluating the quality of the technical maintenance applied to the equipment of the entity through the application of the world class indexes. For this study the calculation methodology of the maintenance indicators will be applied, which presents the corresponding formulas that allow revealing the quality of the technical services performed, and based on that information, to emit evaluative criteria about the management of the function maintenance in the mentioned entity. Among the main results stand out the Availability by equipment and the Cost of Maintenance by Invoicing, observing that, for the analyzed compressors, averages of 85.14% and 47.35%, were obtained respectively. Finally, the quality of the technical maintenance in Bayamo Dairy Factory during the observed period was evaluated as acceptable.

Keywords: Cost, Availability, Failure, Industry, Repair.

RESUMEN. Investigadores de la disciplina del mantenimiento refieren más de 110 indicadores o variables para evaluar la gestión de esta actividad, los cuales se clasifican fundamentalmente en tres grupos, absolutos, de eficiencia y de eficacia. En el caso particular de Cuba la gestión del mantenimiento se realiza en bases a un solo indicador: el coeficiente de disponibilidad técnica, el cual no permite conocer el verdadero comportamiento de las máquinas. Debido a ello se realiza la presente investigación que tiene como objetivo valorar la calidad del mantenimiento técnico aplicado a los equipos de la entidad mediante la aplicación de los índices de clases mundial. Para este estudio se aplicará la metodología de cálculo de los indicadores de mantenimiento, la cual presenta las fórmulas correspondientes que permiten revelar la calidad de los servicios técnicos realizados, y sobre la base de dicha información, emitir criterios valorativos acerca de la gestión de la función mantenimiento en la mencionada entidad. Dentro de los principales resultados se destacan la Disponibilidad por equipo y el Costo de Mantenimiento por Facturación, observándose que para los compresores analizados se obtuvo como promedio 85,14% y 47,35% respectivamente. Finalmente, se valoró la calidad de los mantenimientos técnicos en la Unidad Estatal Básica (UEB) lácteos Bayamo, durante el período observado catalogándose de aceptable.

Palabras clave: costo, disponibilidad, falla, industria, reparación.

* Author for correspondence: Julio César-Casaña Medel: e-mail: jcasanam@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2982-0814>

Received: 25/01/2021

Approved: 18/06/2021.

INTRODUCTION

Throughout history, industrial and technological revolutions have provided an important modernization of industry which has been related to maintenance. In this way, new techniques have emerged that have given a new approach to organization and responsibility from within the industry, as well as greater importance to

volumes and the quality of products and services, as well as because of the constant appearance of new technologies quality, safety and environmental aspects, together with a high availability of equipment (Torres y Figueroa, 2010).

Historically, maintenance has evolved over time due to the need of increasing production, mechanization and automation of processes, that is, due to the growing development of the industry in general. Nowadays, industrial maintenance, and in general, all types of maintenance in a modern company, needs to be analyzed as a group of novel techniques and management systems that have direct consequences on the efficiency of production processes as well as on reduction of costs, profitability and competitiveness of the company, quality of the final product or service that is provided, and finally on customer satisfaction (del Castillo *et al.*, 2009; Zambrano *et al.*, 2015; Díaz *et al.*, 2016; Amendola *et al.*, 2017; Consuegra *et al.*, 2017).

In contemporary industry there is a great diversity of possibilities for carrying out adequate maintenance of machines, equipment and facilities and, at the same time, there is a great shortage of financial resources that limit the application of certain techniques. Consequently, the selection of a specific maintenance policy is of a technical-economic nature and the application of mathematical methods and models, together with the progress made in the electronic processing of data, is an invaluable tool available. (Batista *et al.*, 2000).

The maintenance evaluation within an organization allows analyzing the fulfillment of the objectives set, the status of the works and makes it possible to identify the aspects on which it is necessary to work to make this activity more efficient and developing actions for continuous improvement. All this can be achieved with the help of indicators, whose main function is to evaluate the operational behavior of the facilities, systems, equipment, devices and components, allowing the implementation of a maintenance plan aimed at improving said work. (Capote, 2014).

In the particular case of Cuba and specifically in the sphere of maintenance and repair in the industrial sector, maintenance management is carried out based on a single indicator: the technical availability coefficient, calculated at the end of each month through a method of momentary observation, which does not allow knowing the true behavior of the machinery in the real conditions of its exploitation, nor the effectiveness of the maintenance actions (Capote, 2014).

That is why proper maintenance leads to a good execution of the production process in a company or factory, taking into account the way it is carried out, and the factors that intervene in it in a certain machinery. To do that, it is vitally important to know the different maintenance imple-

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, producto de las revoluciones industriales y tecnológicas, se ha podido apreciar una importante modernización de la industria a la que no ha sido ajeno el mantenimiento. De esta forma, han surgido nuevas técnicas, que le han dado un nuevo enfoque a la organización y responsabilidad desde dentro de la industria, así como una mayor importancia a los aspectos de calidad, seguridad y medio ambiente, unidos a una alta disponibilidad de los equipos (Torres y Figueroa, 2010).

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo debido a la necesidad de elevar los volúmenes de producción y la calidad de los productos y los servicios, la constante aparición de nuevas tecnologías, la mecanización y automatización de los procesos, es decir, debido al creciente desarrollo de la industria en general. En nuestros días el mantenimiento industrial, y de forma general todo tipo de mantenimiento en una empresa moderna, necesita ser analizado como un grupo de técnicas novedosas y sistemas de gestión que tienen consecuencias directas en la eficiencia de los procesos productivos, en la reducción de los costos, en la rentabilidad y competitividad de la empresa, en la calidad del producto final o servicio que se brinda, y finalmente en la satisfacción del cliente (del Castillo *et al.*, 2009; Zambrano *et al.*, 2015; Díaz *et al.*, 2016; Amendola *et al.*, 2017; Consuegra *et al.*, 2017).

En la industria contemporánea existe una gran diversidad de posibilidades para la realización de un mantenimiento adecuado a las máquinas, equipos e instalaciones y a la vez una gran escasez de recursos financieros que limitan la aplicación de determinadas técnicas, por lo que la selección de una determinada política de mantenimiento tiene un carácter técnico-económico y la aplicación de los métodos y los modelos matemáticos, junto con los progresos alcanzados en el procesamiento electrónico de los datos, es una herramienta disponible de inestimable valor (Batista *et al.*, 2000).

La evaluación del mantenimiento dentro de una organización permite analizar el cumplimiento de los objetivos trazados, el estado de los trabajos y posibilita identificar los aspectos sobre los cuales es necesario trabajar para hacer más eficiente esta actividad y desarrollar las acciones para la continua mejora. Todo esto puede lograrse con la ayuda de indicadores, los cuales tienen como función principal, evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes, permitiendo implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar dicha labor (Capote, 2014).

En el caso particular de Cuba y específicamente en la esfera del mantenimiento y la reparación del sector industrial, la gestión del mantenimiento se realiza en base a un solo indicador: el coeficiente de disponibilidad técnica, calculado al final de cada mes a través de un método de observación momentánea, lo cual no permite conocer el verdadero comportamiento de la maquinaria en las condiciones reales de su explotación, ni la efectividad de las acciones de mantenimiento (Capote, 2014).

Es por eso que un adecuado mantenimiento conlleva a una buena ejecución del proceso productivo en una empresa o fábrica, teniendo en cuenta la manera en que se realiza este, y los factores que intervienen en el mismo en una determinada maquinaria. Para ello es de vital importancia conocer los distintos métodos de implementación de mantenimiento, en especial en la Unidad Estatal Básica (UEB) Lácteos Bayamo, la cual se vale de dicho proceso para

mentation methods, especially in Bayamo Dairy Factory which uses these processes to manufacture its products that are exported from it, such as: ice cream, sweetened fluid milk and cheeses. And all these productions are achieved from agricultural raw materials like milk, soybeans, fruit and vegetable pulps.

This entity has a maintenance department which has the mission of ensuring the correct functioning of the machinery. That is performed through a maintenance plan indicated for each machine according to its technical requirements. This form of maintenance application is not optimal, since this equipment has more than 30 years of operation; therefore, its technical performance and availability are no longer the same. Another technique is required, but it is not applied due to the lack of technical training regarding the knowledge and application of these execution procedures necessary to carry out an adequate maintenance control of the production system equipment. Due to the aforementioned, the present work aimed to assess the quality of technical maintenance applied to the entity's equipment, through the application of world class indices.

MATERIALS AND METHODS

The following investigation was carried out in the maintenance workshop belonging to Bayamo Dairy Factory, located to the north of Bayamo City, on Jimmy Hirzel Avenue, Reparto Siboney, Granma. Its mission is the production and marketing of products derived from milk, soy, fruit and vegetable pulps and polyethylene sheets for food packaging.

Applied Methodology for World-Class Indicators

To carry out the research and assess the quality of maintenance of the equipment of the production system of the referred Basic Enterprise Unit (UEB), the methodology for the determination of world-class indicators referred by Tavares (2008) was used. In it, the main maintenance management indexes at international scale are summarized and it is based on the criteria established by other researchers. In addition, it collects precisely, the applicability of world-class indices from the analytical-mathematical point of view. Due to the complexity of applying this methodology to all the machinery of the factory, it was decided to carry out the study of the compressors of the production system, as they are the most directly linked to the production process. Although it could also be applied to other machinery to evaluate their operation as long as they are of the same type and brand as it is stated in the investigations. From now on, the four compressors to be evaluated are specified, these are identified by their inventory number. The indicators and mathematical equations for their determination are shown straightaway.

Mean Time Between Failures (TMEF): Relationship between the product of the number of items and their operating times and the total number of failures detected in those items in the observed period.

la fabricación de sus productos que de la misma se exportan como son: helados, dulce de leche fluida y quesos. Y toda esta producción se logra a través de las siguientes materias primas provenientes de la agricultura tales como la leche, la soya, pulpas de frutas y vegetales.

Esta entidad consta con un departamento de mantenimiento el cual tiene la misión de velar por el correcto funcionamiento de las maquinarias, para ello se rige por un plan de mantenimiento el cual es aplicado a cada equipo de acuerdo a la plantilla técnica de cada uno, lo que permite realizar el mantenimiento de forma planificada según lo requiera cada equipo. Esta forma de aplicación de los mismos no es la óptima, puesto que estos equipos tienen más de 30 años de explotación, por lo cual su rendimiento técnico y disponibilidad ya no son los mismos, y se requiere de otra técnica la cual no es aplicada por la falta de capacitación técnica en cuanto al conocimiento y aplicación de estos procedimientos de ejecución, siendo estos necesarios para mejorar y llevar un adecuado control del mantenimiento de los equipos del sistema de producción. Por lo anteriormente expuesto el presente trabajo tuvo como objetivo valorar la calidad del mantenimiento técnico aplicado a los equipos de la entidad, mediante la aplicación de los índices de clases mundial.

MATERIALES Y METODOS

La siguiente investigación se realizó en el taller de mantenimiento perteneciente a la Unidad Estatal Básica (UEB) Lácteos Bayamo, localizada al norte de la ciudad de Bayamo en la avenida Jimmy Hirzel al final S/N, Reparto Siboney, Granma. La misma tiene como misión, la producción y comercialización de productos derivados de la leche, la soya, pulpas de frutas y vegetales, láminas de polietileno para el envase de alimentos.

Metodología aplicada para los indicadores de clase mundial

Para la realización de la investigación y valorar la calidad del mantenimiento de los equipos del sistema de producción de dicha UEB, se utilizó la metodología para la determinación de los indicadores de clase mundial referida por Tavares (2008), en la que se resumen los principales índices de gestión del mantenimiento a escala internacional, la cual tiene como base los criterios establecidos por otros investigadores, además de recoger de una forma más concisa y clara, la aplicabilidad de los índices de clase mundial desde el punto de vista analítico-matemático. Cabe aclarar que debido a lo complejo que sería aplicarles esta metodología a todas las maquinarias de la fábrica, se decidió realizarles el estudio a los compresores del sistema de producción, por ser los más vinculados directamente al proceso productivo. Aunque se podría también aplicar a las demás maquinarias para evaluar su funcionamiento siempre y cuando sean del mismo tipo y marca respectivamente tal y como se plantea en las investigaciones. En lo adelante se precisa los cuatro compresores a valorar, estos son identificados por su número de inventario. A continuación, se muestran los indicadores y expresiones matemáticas para su determinación.

Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF): Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el período observado.

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC} \quad (1)$$

Where:

NOIT: Number of items.

HROP: Operation time (hours)

NTMC: Total number of failures detected in these items.

This index must be used for items that are repaired after the occurrence of a failure.

Average Time to Repair (TMPR): Relationship between the total time of corrective intervention in a set of items with failure and the total number of failures detected in those items, in the observed period.

$$TMPR = \frac{\sum NTMC}{NTMC} \quad (2)$$

Where:

HTMC: Total time of corrective intervention in a set of items (hours).

NTMC: Total number of failures detected in these items, in the observed period.

Mean Time to Failure (TMPF): Ratio between the total operating time of a set of non-repairable items and the total number of failures detected in these items, in the observed period.

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (3)$$

Where:

HROP: Total operating time of a set of non-repairable items (hours).

NTMC: Total number of failures detected in these items, in the observed period

This index should be used for items that are substituted after the occurrence of a failure.

Equipment availability (DISP): Ratio between the difference between the number of hours in the period considered (calendar hours) and the number of hours of intervention by maintenance personnel (preventive maintenance by time or by status, corrective maintenance and other services) for each item observed, and the total number of hours in the period considered

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \cdot 100\% \quad (4)$$

Where:

TMEF: Mean Time Between Failure (hours).

TMPR: Average Time to Repair (hours).

Maintenance Cost per Billing (CMFT): Ratio between the total maintenance cost and the company's invoicing in the period considered.

$$CMFT = \frac{CTMN}{TMEP} \cdot 100\% \quad (5)$$

Where:

CTMN: Total accumulated maintenance cost. (CUP)

FTEP: Billing of the company in the period considered (hours).

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC} \quad (1)$$

donde:

NOIT: Número de ítems.

HROP: Tiempo de operación (horas).

NTMC: Número total de fallas detectados en esos ítems.

Este índice debe ser usado para ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

Tiempo Medio Para Reparación (TMPR): Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

$$TMPR = \frac{\sum NTMC}{NTMC} \quad (2)$$

donde:

HTMC: Tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems (horas).

NTMC: Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

Tiempo Medio Para la Falla (TMPF): Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (3)$$

donde:

HROP: Tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables (horas).

NTMC: Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

Este índice debe ser usado para ítems que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

Disponibilidad de equipos (DISP): Relación entre la diferencia del número de horas del período considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y otros servicios) para cada ítem observado, y el número total de horas del período considerado

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \cdot 100\% \quad (4)$$

donde:

TMEF: Tiempo Medio Entre Falla (horas).

TMPR: Tiempo Medio Para Reparación (horas).

Costo de Mantenimiento por Facturación (CMFT): Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el período considerado.

$$CMFT = \frac{CTMN}{TMEP} \cdot 100\% \quad (5)$$

Donde:

CTMN: Costo total de mantenimiento acumulado (CUP).

FTEP: Facturación de la empresa en el período considerado (horas).

Maintenance Cost by Replacement Value (CMRP): Ratio between the total accumulated cost of maintaining a certain piece of equipment and the purchase value of that same new equipment (replacement value).

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \cdot 100\% \quad (6)$$

Where:

CTMN: total accumulated cost in the maintenance of a certain equipment. (CUP)

VLRP: Purchase value of the same new equipment (replacement value). (CUP)

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows, by means of a bar graph, the values obtained from the mean time between failures for the compressors analyzed. Of these, the compressors with inventory number 32,759 and 326,005 are those that obtained the highest operating values without the technical failure occurring, with magnitudes of 79.63 h and 82.47 h of mean time between failures, respectively. Researchers such as Mesa *et al.* (2006); Amendola *et al.* (2012) & Christensen (2013) refer that the higher the value of this indicator, the greater the reliability and availability of the equipment.

Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición (CMRP): Relación entre el costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo y el valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición).

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \cdot 100\% \quad (6)$$

donde:

CTMN: costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo (pesos).

VLRP: Valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición), pesos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se aprecia, mediante un gráfico de barras los valores obtenidos del tiempo medio entre fallas para los compresores analizados. De éstos, los compresores con número de inventario 32 759 y 326 005 son los que obtuvieron mayores valores de explotación sin que ocurriera la falla técnica, con magnitudes de 79,63 h y 82,47 h respectivamente de tiempo medio entre falla. Investigadores como Mesa *et al.* (2006); Amendola *et al.* (2012) y Christensen (2013), refieren que entre mayor sea el valor de este indicador, mayor es la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

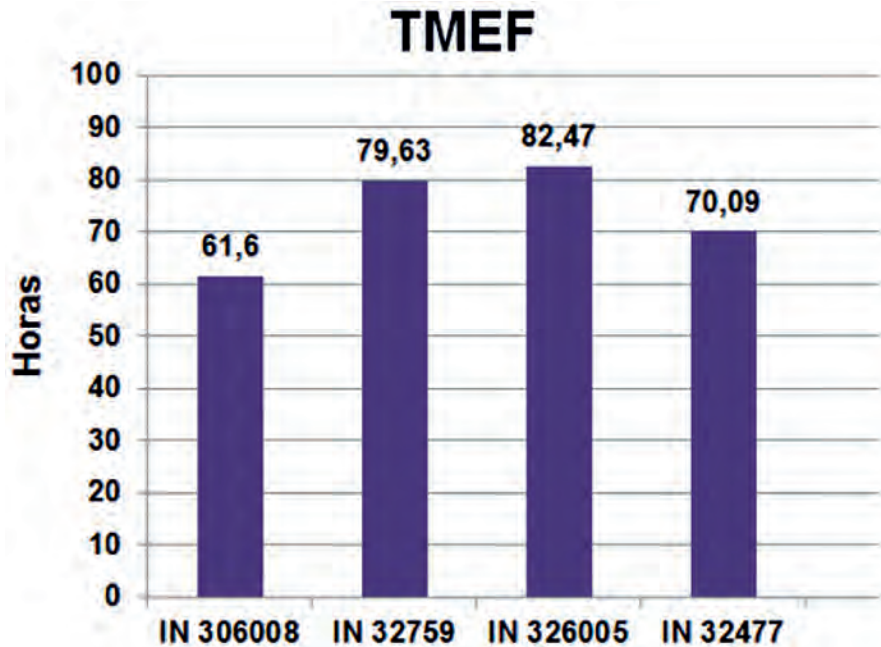


FIGURE 1. Mean Time Between Failures, h (TMEF) for the year 2019.

FIGURA 1. Tiempo Medio Entre Fallas, h (TMEF) para el año 2019.

When comparing the values of this indicator with that referred to by Zegarra (2016), it can be said that the result for the four compressors is in the range of hours reported by this researcher (between 60 and 80 hours on average), which confirms the adequate fulfillment of maintenance activities in the observed period. The target values of this indicator will depend on the correct application of the maintenance that can be applied to said equipment.

Al comparar los valores de este indicador con lo referido por Zegarra (2016), se puede decir que el resultado para los cuatro compresores se encuentran en el rango de horas reportadas por este investigador siendo estas de 60 y 80 horas como promedio, lo que ratifica el cumplimiento adecuado de las actividades de mantenimiento en el período observado. Los valores metas de este indicador dependerán de la correcta aplicación del mantenimiento que se le pueda aplicar a dichos equipos.

It should be noted that the compressors evaluated have more than 30 years of operation as average, with continuous work 24 hours a day, except for an unforeseen event or failure which required some technical support. However, the result of this indicator can be classified as acceptable; indicating that the maintenance applied is adequate, although better management will be required to further increase the time of appearance of failures.

In Figure 2, the mean time for repairing (TMPR) for the compressors studied is shown. Of these, the compressor with inventory number 32,759 had the lowest TMPR in the period analyzed with a value of 8.62 h. Christensen (2014) & Zambrano *et al.* (2015) stated that this indicator should be as low as possible so that the equipment has more time to produce and availability increases.

Es preciso destacar que los compresores evaluados presentan más de 30 años como promedio de explotación con trabajo continuo las 24 h, excepto si aparece algún imprevisto o falla la cual requiera de asistencia técnica. Sin embargo, el resultado de este indicador se puede catalogar de aceptable, indicando que el mantenimiento aplicado es el adecuado, aunque se precisará de una mejor gestión que permita elevar aún más el tiempo de aparición de las fallas.

En la Figura 2, se aprecia el Tiempo Medio Para la Reparación (TMPR) para los compresores en estudio. De éstos, el compresor con número de inventario 32 759 es el de menor TMPR en el período analizado con un valor de 8,62 h. Christensen (2014) y Zambrano *et al.* (2015) refirieron que este indicador debe de ser lo más bajo posible para que el equipo disponga de mayor tiempo para producir y se eleve la disponibilidad.

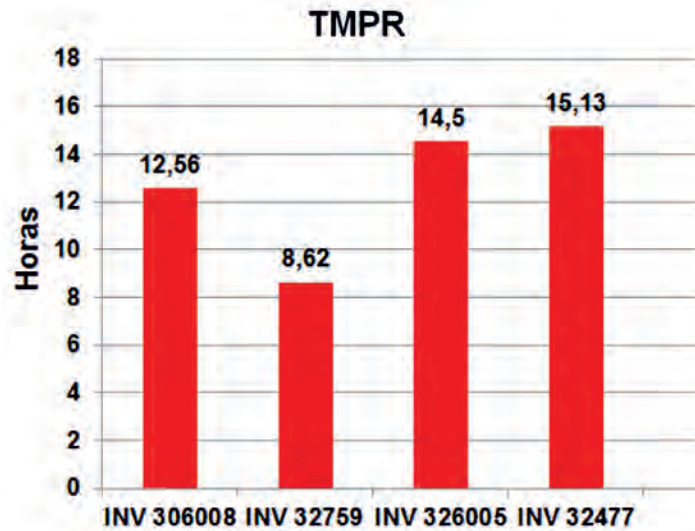


FIGURE 2. Average Time to Repair, h (TMPR) for the year 2019.
 FIGURA 2. Tiempo Medio Para la Reparación, h (TMPR) para el año 2019.

The results found for this indicator ranged between 8.62 hours and 15.13 hours, higher than those referred by Zegarra, (2016), which establishes that this indicator should range between 3 and 6 hours on average, for maintenance management to be adequate. High values of TMPR indicate that many hours are invested in repairing the machines, such as those reported by compressors with inventory numbers 306,008, 326,005 and 32,477.

Christensen (2013), referred that the TMPR is improved with three characteristic points that are:

- Clear procedures.
- Adequate tools.
- Staff training.

It is necessary to point out that, despite those values obtained for the case under study, it does not demonstrate the maintenance management is inadequate or inefficient, since the evaluated equipment has more than 30 years of operation. Consequently, operators must dedicate more time to keep that equipment operating properly.

In Figure 3, it is observed that the equipment with inventory number 306,008 and 32,477, showed a time for the occurrence of the failure greater than 80 h.

Los resultados encontrados para este indicador oscilan entre las 8,62 h y 15,13 h, superiores a las referidas por Zegarra, (2016), el cual establece que este indicador debe oscilar entre 3 y 6 horas como promedio para que la gestión del mantenimiento sea adecuada. Pues un alto valor del TMPR indica que se invierten muchas horas en reparar la máquina, como los reportados por los compresores con número de inventario 306 008, 326 005 y 32 477.

Christensen (2013), refirió que el TMPR se mejora con tres puntos característicos los cuales son:

- Procedimientos claros.
- Herramientas adecuadas.
- Capacitación del personal.

Resulta necesario aclarar que, a pesar de los valores obtenidos para el caso en estudio, esto no significa que la gestión del mantenimiento sea inadecuada o ineficiente, ya que los equipos evaluados presentan más de 30 años de explotación. De ahí que los operarios deban invertir mayor tiempo para mantener los mismos operando adecuadamente.

En la Figura 3, se observa que los equipos con número de inventario 306 008 y 32 477, arrojaron un tiempo para la ocurrencia de la falla superior a los 80 h.

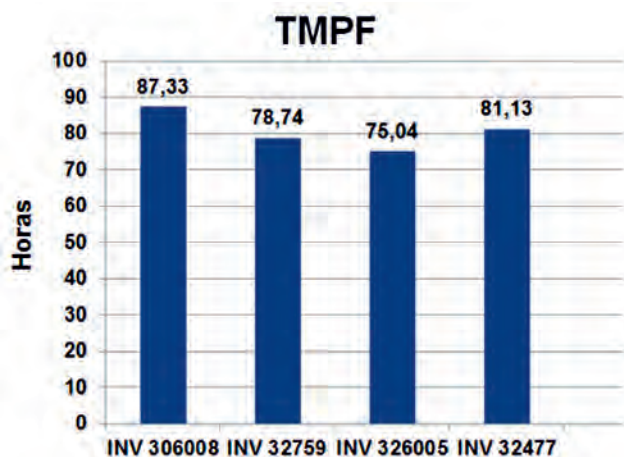


FIGURE 3. Mean Time to Failure, h (TMPF) for the year 2019.
 FIGURA 3. Tiempo Medio Para la Falla, h (TMPF) para el año 2019.

The TMPF is determined taking into account that it is calculated for those failures that were presented in the pieces of the equipment and it was not possible to be repaired, and consequently, it was necessary either to redesign or to replace it by a new one. According to Tavares (2008), this indicator is only determined for items that are not repairable after the occurrence of a failure.

It can be seen that the compressors with inventory number 306,008 and 32,477 are those that obtained the highest TMPF with an average value of 84.23 h, a result that confirms the behavior of these equipment in the event of failures, which occur every 3 days considering those that are not repairable, such as those that have been addressed for the calculation of this indicator.

In general, these values behaved above 75 h, a result that can be considered acceptable for the compressors analyzed, which reveals the quality of maintenance applied to this equipment after the change of any of the parts that due to a technical failure that could not be resolved.

In Figure 4, it is observed that the compressors with inventory number 32,759 and 326,005 obtained an availability of 90.23% and 85.05%, respectively, in agreement with that described by Christensen (2006), which refers that the shorter the Time Medium for Repair (TMPR), the greater the availability of an equipment.

El TMPF es determinado teniendo en cuenta que el mismo se calcula para aquellas fallas que fueron presentadas en las piezas de los equipos y no pudieron ser reparadas y hubo que acudir a una nueva pieza, ya sea rediseñada o sustituida por una nueva. Según Tavares (2008), este indicador solo es determinado para ítems que no sean reparables tras la ocurrencia de una falla.

Se puede apreciar que los compresores con número de inventario 306 008 y 32 477 son los que obtuvieron mayor TMPF con un valor de 84,23 h como promedio, resultado que ratifica que el comportamiento de estos equipos ante las fallas, ocurriendo éstas cada 3 días considerando las que no sean reparables, tales como se han abordado para el cálculo de este indicador.

De forma general estos valores se comportaron por encima de las 75 h, resultado que se puede considerar de aceptable para estos compresores analizados, lo cual revela la calidad del mantenimiento aplicado a estos equipos tras el cambio de alguna de las piezas que producto a una falla técnica no haya podido ser resuelta.

En la figura 4 se observa que los compresores con número de inventario 32 759 y 326 005 obtuvieron una disponibilidad de 90,23% y 85,05% respectivamente, concordando con lo descrito por Christensen (2006), el cual refiere que a menor Tiempo Medio para la Reparación (TMPR), será mayor la disponibilidad de un equipo.

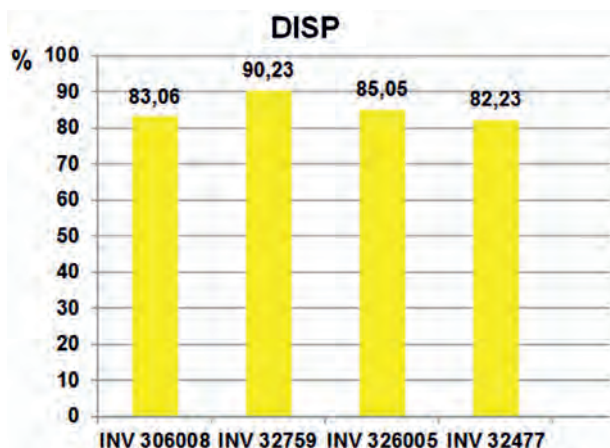


FIGURE 4. Technical availability (DISP) for the year 2019.
 FIGURA 4. Disponibilidad técnica (DISP) para el año 2019.

Other authors such as Mesa *et al.* (2006) & Amendola *et al.* (2012), reported that availability also depends on the Mean Time Between Failures (TMEF), since the higher this is, the reliability and availability of the equipment will be higher, since it will have a higher technical performance and consequently its useful life will be further lengthened.

These values are obtained through the relationship between the TMEF and its sum with the TMPR, and the entire expression multiplied by 100%, thus the technical availability of the compressors for that year can be obtained.

According to Tavares (2008), an equipment availability value that is between 81-90% can be considered acceptable, since it demonstrates the work efficiency under operating conditions, considering the operating time and the failures obtained in the period analyzed.

When observing the values (Figure 4), it can be seen that the compressors with inventory numbers 306,008 and 32,477 were those with the lowest technical availability, but they are still within the ranges reported by this researcher, yielding values of 83.06% and 82.23% respectively.

In Figure 5, the Maintenance Cost per Billing (CMFT) is shown. Of the compressors under study, the one with inventory number 306,008 yielded a value of 65.83%; which implies an increase in maintenance costs, causing an overdraft in this indicator. The fundamental causes are given by the expenditure of material and financial resources.

However, this indicator in the rest of the equipment analyzed, behaved with values lower than 55% of the costs. This could be less, although in general, it does not exceed 48% of these. For equipment 32,759, 326,005 and 324,477 there was less expenditure or use of resources, as well as in the workforce assigned to carry out maintenance.

Otros autores como Mesa *et al.* (2006) y Amendola *et al.* (2012), reportaron que la disponibilidad también depende del Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF), pues mientras mayor sea este, la confiabilidad y disponibilidad del equipo será más elevada, pues dispondrá de un mayor rendimiento técnico y por consiguiente se alargará aún más su vida útil.

Estos valores se obtienen mediante la relación existente entre el TMEF y la suma de éste con el TMPR, y toda la expresión multiplicada por 100%, así se puede obtener la disponibilidad técnica de los compresores en ese año.

Según Tavares (2008), un valor de disponibilidad de equipo que se encuentre entre 81 - 90% se puede considerar de aceptable, ya que demuestra la eficiencia de trabajo bajo las condiciones de explotación, considerando el tiempo de operación y las fallas obtenidas en el período analizado.

Al observar los valores (Figura 4) se aprecia que los compresores con número de inventario 306 008 y 32 477 fueron los de menor disponibilidad técnica, pero siguen estando dentro de los rangos reportados por este investigador, arrojando valores de 83,06% y 82,23% respectivamente.

En la Figura 5, se muestra el Costo de Mantenimiento por Facturación (CMFT). De los compresores en estudio, el que presenta número de inventario 306 008 arrojó un valor de 65,83%; lo cual implica un aumento en los costos de los mantenimientos, provocando un sobregiro en este indicador. Las causas fundamentales están dadas por los gastos de recursos materiales y financieros.

Sin embargo, este indicador en el resto de los equipos analizados, se comportó con valores inferiores al 55% de los costos. Esto pudiera ser menor, aunque de forma general no sobrepasa el 48% de éstos, Para los equipos 32 759, 326 005 y 324 477 existió un menor gasto o uso de recursos, así como en la fuerza de trabajo destinada a ejecutar los mantenimientos.

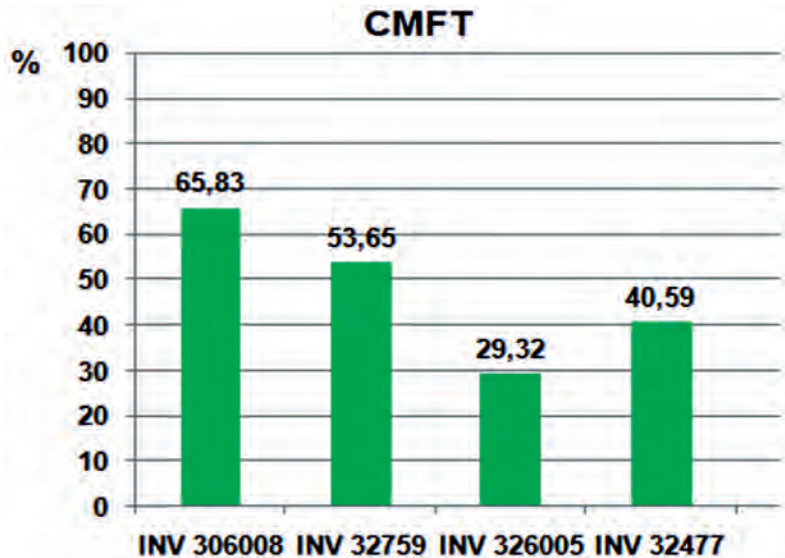


FIGURE 5. Billing Maintenance Cost (CMFT) for the year 2019.
 FIGURA 5. Costo de Mantenimiento por Facturación (CMFT) para el año 2019.

It can also be observed that the compressor with inventory number 326,005 presented a cost of 29.32% for this year analyzed, which is favorable, since it is given by the high values of equipment availability and mean time between failures reached in this year by it.

También se puede observar que el compresor con número de inventario 326 005 presentó para este año analizado un costo de 29,32% siendo este favorable, puesto que el mismo está dado por los altos valores de disponibilidad

Figure 6 shows the Total Cost of Maintenance by Replacement Value (CTRP). Observing that this indicator in the analyzed compressors remained below 2%.

del equipo y tiempo medio entre fallas alcanzados en este año por el mismo.

En la Figura 6 se aprecia el Costo Total de Mantenimiento por Valor de Reposición (CTRP). Observándose que este indicador en los compresores analizados se mantuvo por debajo del 2%.

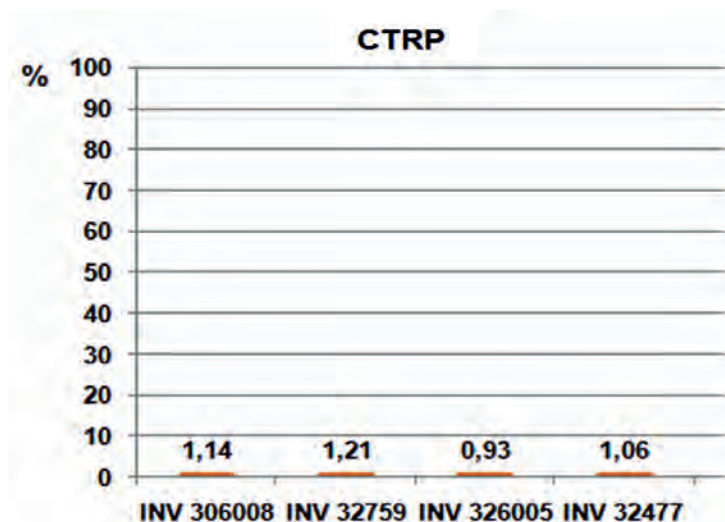


FIGURE 6. Cost of Maintenance by Replacement Value (CTRP) for the year 2019.
 FIGURA 6. Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición (CTRP) para el año 2019.

According to Tavares (2008), this indicator is the relationship between the total accumulated cost of maintaining a certain equipment and the purchase value of that same new equipment.

Según Tavares (2008), este indicador es la relación entre el costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo y el valor de compra de ese mismo equipo nuevo.

Taking this fact into account, it is evident that each of these compressors' price in the international market, and the value of the costs accumulated in the maintenance of each one during the year do not reveal a high expense tax in correspondence with its replacement value.

Teniendo en cuenta esto, resulta evidente que el valor de estos compresores en el mercado internacional y el valor de los costos acumulados en el mantenimiento de cada uno durante el año, no exhiben un alto impuesto de gasto en correspondencia con su valor de reposición.

In general, it was possible to observe the indicators' behavior for each of the compressors of Bayamo Dairy Factory production system. Of these, the compressor with inventory number 326,005 was the one with the best technical performance and, consequently, to which adequate maintenance was applied, yielding acceptable values according to those referred by other researchers. The most significant are given by the correct management and application of the maintenance conceived to each one of the equipment in the observed period. It is important to clear out that despite they have more than 30 years of operation and the corresponding maintenance has been carried out for their proper functioning and durability, better performance would be available, if the necessary spare parts, the corresponding supplies and adequate training were offered. Then, a better implementation of maintenance could be carried out in the presence of failures. To achieve this, it is also necessary to take into account the control of the activities applied to each of the machines through the management indicators or world-class indices discussed in this research. That allows better control of the actions and at the time of execution of these, obtaining longer time interval for the presence of faults between one and another, and consequently, a higher availability in the compressors.

De forma general se pudo observar el comportamiento de cada uno de los indicadores por cada compresor del sistema de producción de la UEB lácteos Bayamo. De éstos el compresor con número de inventario 326 005 fue el de mejor rendimiento técnico y por consiguiente al que se le aplicó el mantenimiento adecuado, arrojando valores aceptables según los referidos por otros investigadores. Los más significativos están dados por la correcta gestión y aplicación de los mantenimientos concebidos a cada uno de los equipos en el período observado. Cabe aclarar que a pesar de que tengan más de 30 años de explotación y se venga ejecutando el mantenimiento correspondiente para su adecuado funcionamiento y durabilidad, se dispondría de un mejor rendimiento, si se contara con las piezas de repuestos necesarias, los insumos correspondientes y la capacitación adecuada; entonces se podría llevar a cabo una mejor implementación de los mantenimientos ante la presencia de fallas. Para conseguir esto, también hay que tener en cuenta el control de las actividades que se les aplica a cada una de las máquinas mediante los indicadores de gestión o índices de clase mundial tratados en esta investigación, lo que permite llevar un mejor control ante las acciones y a la hora de la ejecución de éstas, permitiendo obtener un mayor intervalo de tiempo para la presencia de las fallas entre una y otra, y por consiguiente una disponibilidad más elevada en los compresores.

CONCLUSIONS

- The quality of technical maintenance in the compressors of Bayamo Dairy Factory production system was assessed by calculating and analyzing world-class indicators.
- The values of availability and maintenance cost per billing obtained are within the established ranges compared to those reported by other researchers, being these 85.14% and 47.35%, respectively as an average, so, the quality of the maintenance applied to this equipment in Bayamo Dairy Factory during the observed period can be valued as acceptable.
- The Mean Time Between Failure (TMEF), Mean Time to Failure (TMPF) and Mean Time to Repair (TMPR) values could be better, if better management time is carried out for the execution of corrective maintenance, and supplies of higher quality were used to repair breakdowns.
- Among the equipment analyzed, the compressor with inventory number 326,005 was the one that presented the highest technical performance and, consequently, it was the one that received the best maintenance during the period observed.

CONCLUSIONES

- Se valoró la calidad del mantenimiento técnico en los compresores del sistema de producción de la UEB lácteos Bayamo, mediante el cálculo y análisis de los indicadores de clase mundial.
- Los valores de disponibilidad y costo de mantenimiento por facturación obtenidos, están dentro de los rangos establecidos en comparación a los reportados por otros investigadores, siendo estos de 85,14% y 47,35% respectivamente como promedio, por lo que se puede valorar la calidad de los mantenimientos aplicados a estos equipos en la UEB lácteos Bayamo durante el período observado, como aceptable.
- Los valores del Tiempo Medio Entre Falla (TMEF), Tiempo Medio Para la Falla (TMPF) y Tiempo Medio Para la Reparación (TMPR) pudieran ser mejores, si la ejecución de los mantenimientos correctivos se realizase con mayor rapidez y se emplearan insumos de mayor calidad.
- Dentro de los equipos analizados, se puede afirmar que el compresor con número de inventario 326 005 fue el que presentó mayor rendimiento técnico y, consiguientemente, fue al que se le aplicó mejor el mantenimiento durante el período observado.

REFERENCES

- AMENDOLA, L.; ARTACHO, M.Á.; DEPOOL, T.: Análisis de los factores clave para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria de oil & gas en América Latina. (Spanish) [en línea]. Analysis of key factors to improve maintenance management in the oil & gas industry in Latin America. (English), [en línea], vol. 92 no. 5 (566), 2012, Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asu&AN=125061723&lang=es&site=ehost-live>.
- AMENDOLA, L. *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*. [en línea] 15 de octubre del 2017. Disponible en: <http://www.klaron.net> [Consulta: 15 de febrero del 2019].
- BATISTA, R. C.; CHACÓN, R. B. y GUERRERO, P. O.: “Rentabilidad de la gestión del mantenimiento en los centrales azucareros cubanos”, *Revista Ingeniería Mecánica*, 4(1): 63-70, 2000.
- CAPOTE, A. A.: “Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(4): 45-49, 2014.
- CONSUEGRA, D. F.; DÍAZ, C. A.; CRUZ, B. A.; BENÍTEZ, M. R. I; DEL CASTILLO, S. A.; RODRÍGUEZ, P. A. J.: “Diseño del método de disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento”, *Revista Ingeniería Mecánica*, 20(3): 122-128, 2017.
- CHRISTENSEN, C.H.: “Indicadores de Mantenimiento (4ª Parte)”, *Revista Club del Mantenimiento*, 16(5): 9-10, 2006.
- CHRISTENSEN, C.H.: “Gestión del mantenimiento. Indicadores del mantenimiento (1 parte)”, *Revista Club del Mantenimiento*, 13(4), 2013, Disponible en: <http://www.clubdemantenimiento.com/indicadores-de-mantenimiento-la-parte>, [Consulta: 21 de febrero de 2018].
- CHRISTENSEN, C.H.: “Gestión del mantenimiento. Indicadores del mantenimiento (2ª parte)”, *Revista Club del Mantenimiento*, 14(5), 2014, Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_14.pdf.
- DEL CASTILLO, S. A. M.; BRITO, B. M. L; FRAGA, G. E.: “Análisis de criticidad personalizados”, *Revista Ingeniería Mecánica*, 12(3): 1-12, 2009.
- DÍAZ, C. A.; VILLAR, L. L.; CABRERA, G. J.; GIL, H. A. S.; MATA, A. R.; RODRÍGUEZ, P. A. J.: “Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica”, *Revista Ingeniería Mecánica*, 19(3): 137-142, 2016.
- MESA, G.D.H.; ORTIZ, S.Y.; PINZÓN, M.: “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento”, *Revista Scientia et Technica*, 30(30): 155, 2006.
- TAVARES, L.A.: *Administración Moderna de Mantenimiento*, Ed. Nuevo Polo Publicaciones, vol. 1, Braiil, 2008.
- TORRES, V. A.; FIGUEROA, D. V. D.: “Diseño de ejercicio docente basado en el estudio comparativo de metodologías de optimización del mantenimiento”, *Revista Ingeniería Mecánica*, 13(3): 9-17, 2010.
- ZAMBRANO, E.; TERESA, P.A.; CASTILLO, R.: “Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas”, *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales de la Universidad Rafael Beloso Chacín*, 17(3): 495-511, 2015.
- ZEGARRA, M.: “Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Indicators for heavy equipment maintenance management”, *Revista Universidad Autónoma Perú*, 19(1), 2016, Disponible en: <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/viewFile/1219/1189>, [Consulta: 10 de febrero de 2018].

Julio César Casaña-Medel, Prof. Instructor. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Técnicas. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Carretera a Manzanillo. km 17 ½, Peralejo - Apartado 21 – Bayamo, M. N. Código Postal 85149. Provincia Granma. Cuba. e-mail: jcasanam@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2982-0814>

Alain Ariel de la Rosa-Andino, Prof. Titular. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Técnicas. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Carretera a Manzanillo. km 17 ½, Peralejo - Apartado 21 – Bayamo, M. N. Código Postal 85149. Provincia Granma. Cuba. e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6593-8583>

Idalberto Macías-Socarrás, Prof., Universidad Estatal Península de Santa Elena. Avenida Principal La Libertad-Santa Elena, La Libertad, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3512-7098>

Yoandrys Morales-Tamayo, Prof. Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Dpto. Ingeniería Electromecánica. Extensión La Maná, Ecuador, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7456-1490>

Yusimit Karina Zamora-Hernandez, Prof. Instructor. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Técnicas. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Carretera a Manzanillo. Provincia Granma. Cuba, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0112-0161>

Yordanka Aguilera-Corrales, Prof. Asistente. Universidad de Granma. Facultad de Humanidades. Manzanillo, Granma. Cuba, e-mail: arosaa@udg.co.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8553-7613>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

