



Six Sigma as Strategy of Maintenance in the Corn Harvester Massey Ferguson Model 7252

Seis sigmas como estrategia de mantenimiento en la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252

Ing. Elio Rafael Hidalgo-Batista^I, Ing. William Romero^{II}

^I Universidad de Holguín, Reparto Piedra Blanca, Holguín, Cuba.

^{II} Universidad Politécnica Territorial “J. J. Montilla”, Estado Portuguesa, Venezuela.

ABSTRACT. This article summarizes the results of a research aimed at implementing the Six Sigma methodology as a maintenance strategy in the Massey Ferguson model 7252 combine, and from this implementation, to know the current sigma level of the belt transmission system, a mechanism whose failures, cause low readiness of the system and the machine. The content of the work shows the particularities of the six-sigma method. The results obtained after the implementation have allowed knowing the sigma value of the transmission system between two and three σ , which does not allow transmitting the power with quality, torque and revolutions that the internal combustion engine of the machine offers. The repair cycle for the transmission subsystem, composed of two technical services, was completed. These results are applicable in similar systems, where high levels of operational safety are required.

Keywords: repair cycle, failures, transmission system and root cause.

RESUMEN. El presente artículo resume los resultados de una investigación dirigida a implementar la metodología de las Seis Sigmas como estrategia de mantenimiento en la cosechadora Massey Ferguson modelo 7252, y de esta implementación conocer el nivel sigma actual del sistema de transmisión por correa, mecanismo que posee fallas que provocan una baja disponibilidad del sistema y de la máquina. El contenido del trabajo expone las particularidades del método de las seis sigmas. Los resultados obtenidos luego de la implementación han permitido conocer que el valor sigma del sistema de transmisión se encuentra entre dos y tres σ , siendo el mismo un nivel que no permite transmitir con calidad la potencia, torque y revoluciones que ofrece el motor de combustión interna de la máquina. Se logró elaborar el ciclo de reparación para el subsistema de transmisión estando el mismo compuesto por dos servicios técnicos. Estos resultados son de aplicación en sistemas similares, donde se requieran altos índices de seguridad operativa.

Palabras clave: ciclo de reparación, fallas, sistema de transmisión y causa raíz.

INTRODUCTION

The man, from the beginning of his history, has tried to facilitate his work with the aid of machines or tools. The growing agricultural borders and volume of production, make to increase the speed of work (Paneque-Rondón et al., 2018). With the appearance of the agricultural machines, an infinite

INTRODUCCIÓN

El hombre, desde el inicio de su historia, ha intentado facilitar su trabajo con la ayuda de máquinas o herramientas. Debido al crecimiento de las fronteras agrícolas y al incremento en el volumen de producción nace la necesidad de aumentar la velocidad de trabajo (Paneque-Rondón et al., 2018). Con la aparición de las

* Author for correspondence: Elio Rafael Hidalgo-Batista, e-mail: elio@uho.edu.cu

Received: 12/2/2018.

Approved: 19/12/2019.

field of development of machines for each function opened: to work the ground, sowing, harvesting and product collection, load and transport (Rivas, 2004).

Nowadays, agriculture demands optimal operation of the processes mechanized, concentration and specialization of the production and increase of work productivity based on agricultural yields and diminution of the production costs (Igarza, 2012).

One of the tasks to maintain the levels of functionality and readiness of the corn harvester Massey Ferguson model MF 7252 is the regulation of its systems and components, through periodic works of maintenance. On the other hand, during the operation of this equipment, different failures may happen, which, even being insignificant and not opportunely treated, could become a serious problem, that risk the availability of the equipment.

During the corn harvest, in the agricultural land of the Polytechnic Territorial University of the Estado de Portuguesa, the Massey Ferguson model 7252 corn harvester, presented faults in the transmission system by belts and it caused delays in the grain harvest. This situation led to organize the maintenance service in order to control failures, breakdowns and to improve the availability of it.

Nowadays, Six Sigma is considered like a tool of generally accepted management in countries like United Kingdom, France and Spain, as it has demonstrated its validity and potential in financial sectors like automotion, services, discharge technology, manufactures, chemistry, aeronautical, information technologies, software, public bank, administrations and hospitals, independently of the business size and volume (Zuluaga, 2016).

According to Felizzola and Luna (2014), Six Sigma is supported in a methodology composed of five phases: To define, To measure, To analyze, To improve and To control, commonly call DMAIC, and it has as objective to increase the capacity of the processes. It has engaged many organizations in implementing Six Sigma like strategy of businesses to increase their yields, to improve the quality of their products and services, as well as to improve their productivity and competitiveness.

The application of it by several investigators in different processes and machines is related next:

Sexto (2004), in its article published in 4to Peruvian Congress - Engineering of the Maintenance raises "the maintenance to critical systems, with inferior levels sigma to six, can carry inadmissible consequences and losses for the security, the environment, the production and injures to the credibility and organizational sustainability".

Leal (2005) applies methodology MAMC of Six Sigma to assets of the heavy machinery sales department in Guatemala.

Díaz (2005), Jiménez (2005) and Leal (2005), use the Six Sigma method in heavy machinery, respectively, to control the processes in the sales department of a trading company and in the housing construction industry. In addition, Mendoza et al. (2014) point out that there are several applications of the Six Sigma methodology in different areas

máquinas agrícolas se abrió un campo infinito de desarrollo de máquinas para cada función: labrar el suelo, siembra, cosecha, recolección y carga de productos y transporte (Rivas, 2004).

La agricultura de los tiempos actuales exige de una óptima explotación de los procesos mecanizados, concentración y especialización de la producción y el incremento de la productividad del trabajo sobre la base de los rendimientos agrícolas y disminución de los costos de producción (Igarza, 2012).

Una de las tareas para mantener los niveles de funcionalidad y disponibilidad de la cosechadora Massey Ferguson modelo MF 7252, es la regulación de los sistemas y elementos que los componen, a través de trabajos periódicos de mantenimiento. Por otra parte durante el funcionamiento de estos equipos pueden ocurrir diferentes fallas, si una de ellas por insignificante que sea pasa inadvertida y no se le da solución desde el principio, puede convertirse en un grave problema. Más grave aún cuando ocurre en un momento crítico, poniendo en peligro al equipo.

Debido a la importancia en la vida económica y social de la Universidad Politécnica Territorial del Estado de Portuguesa de la cosechadora Massey Ferguson modelo 7252 destinada a la cosecha de maíz en la Unidad de Producción de Mijaguito surge la siguiente situación problemática el surgimiento de fallas en el sistema de transmisión por correas de la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 ha llevado a organizar el servicio de mantenimiento con el objetivo de controlar los fallos y averías para optimizar la disponibilidad de esta máquina y minimizar los costos de mantenimiento.

Hoy en día, Seis Sigmas está considerada como una herramienta de gestión generalmente aceptada en países como Reino Unido, Francia y España, al haber demostrado su validez y su potencial en sectores como automoción, servicios financieros, alta tecnología, manufactura, químico, aeronáutico, tecnologías de la información, software, banca, administraciones públicas, hospitales, todo esto independientemente del tamaño y del volumen de negocio (Zuluaga, 2016).

Según Felizzola y Luna (2014), Seis Sigmas está soportado en una metodología compuesta de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, comúnmente llamada DMAIC, por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), y tiene como objetivo aumentar la capacidad de los procesos. Esto ha llevado a muchas organizaciones a implementar Seis Sigmas como estrategia de negocios para aumentar su rentabilidad, mejorar la calidad de sus productos y servicios, llegando a mejorar su productividad y competitividad.

La aplicación de la misma por varios investigadores en diferentes procesos y máquinas se relaciona a continuación:

Sexto (2004), en su artículo publicado en el 4to Congreso Peruano-Ingeniería del Mantenimiento plantea "El mantenimiento a sistemas críticos, con niveles sigma inferiores a seis, puede acarrear consecuencias y pérdidas inadmisibles para la seguridad, el medio ambiente, la producción y lesionar la credibilidad y sostenibilidad organizacional".

Leal (2005), aplica el método de las Seis Sigmas en los recursos del departamento de venta de maquinaria pesada en Guatemala.

Díaz (2005); Jiménez (2005) y Leal (2005), emplean respectivamente el método de las Seis Sigmas en la maquinaria pesada, para controlar los procesos en el departamento de ventas de una empresa comercializadora y en la industria de la construcción de viviendas. Además, Mendoza et al. (2014) señalan que existen

and in a considerable number of important companies from different productive sectors. The steps of the methodology guarantee an in-depth analysis of the problem to study.

Mendoza et al. (2014) in their research only develop three phases of the Six Sigma methodology (definition, measurement and analysis). In this work, several techniques were applied, such as studies of repeatability and reproducibility, linearity, control graphs, process capacity and experimental design in order to determine the significant variables in the calculation of the uncertainty of the Diesel emissions mapping test.

Zegarra (2014), expounds the administrative method Six Sigma, will help the results analysis of the maintenance management and will allow the continuous improvement. Hence, it will improve the mechanical availability and will secure the machines useful life and therefore, the efficiency in the factory managing.

Jasso et al. (2014) outline that "Six Sigma methodology helps to identify, to reduce and to eliminate defects of any product, process and transition. Six Sigma is a dynamic strategy, flexible and is an initiative of processes that helps an organization to discover solutions. Using Six Sigma to identify and to correct the greater problems will create real data that will previously discover unknown solutions, solutions that would remain hidden without the implementation of the methodology".

Santiago et al. (2014), indicate that Six Sigma is a methodology of quality management, centered in the process control whose objective is to manage diminishing the number of defects in the delivery of a product or service to the client. The goal of Six Sigma is to produce pieces with a maximum of 3.4 defects by million opportunities, considering defect, any product/service that does not manage to fulfill the requirements of the client.

Gurrola et al. (2014), offer the following definitions with the purpose of facilitating the understanding:

Six Sigma is a methodology for solving problems that helps the improvement and good organizational performance of the company, which adopts it.

Performance of Six Sigma is a statistical term for a process or procedure that looks for generating 3.4 defects or errors per million of opportunities.

After analyzing the use of the Six Sigma method by several authors in different processes, it is concluded that, it has not been used as a maintenance strategy to improve the availability of the belt transmission system of the Massey Ferguson model 7252 corn harvester, belonging to the Production Unit of Mijaguito of the UPT. "J.J.Montilla" Estado Portuguesa, Venezuela, which is the main objective of the investigation.

In this way, the problem of the Six Sigma project is that the little organization, planning and control of the tasks related to the transmission system, influence the emergence of failures and the low availability of that system.

METHODS

In order to develop the investigation whose results are exposed in this article, theoretical methods of investigation were used, such as analysis and historical synthesis and logical for the study of the object through the time and to

diversas aplicaciones de la metodología de Seis Sigma en diversas áreas y en un número considerable de empresas importantes de diferentes sectores productivos. Los pasos de la metodología garantizan realizar un análisis profundo del problema a estudiar.

Mendoza et al. (2014), en su investigación solamente desarrollan tres fases de la metodología Six Sigma (definición, medición y análisis). En dicho trabajo se aplicaron diversas técnicas tales como estudios de repetibilidad y reproducibilidad, linealidad, graficas de control, capacidad de proceso y diseño experimental con el fin de determinar las variables significativas en el cálculo de la incertidumbre de la prueba de mapeo de emisiones Diésel.

Zegarra (2014), plantea el método administrativo Seis Sigmas, ayudará al análisis de los resultados de la gestión de mantenimiento y permitirán la mejora continua, así como al alcance de los resultados esperados, traducidos en eficiencia en manejo del taller, mejora de la disponibilidad mecánica y aseguramiento de la vida útil de las máquinas.

Jasso et al. (2014), esbozan que la "metodología Seis Sigmas ayuda a identificar, reducir y eliminar defectos de cualquier producto, proceso y transición. Esto debido a que Seis Sigmas es una estrategia dinámica, flexible y es una iniciativa de procesos que ayuda a una organización a descubrir soluciones. Usando Seis Sigmas para identificar y corregir los mayores problemas, creará datos reales que descubrirán soluciones previamente desconocidas, soluciones que permanecerían ocultas sin la implementación de la metodología".

Santiago et al. (2014), señalan que Seis Sigmas es una metodología de la gestión de calidad, centrada en el control de procesos cuyo objetivo es lograr disminuir el número de defectos en la entrega de un producto o servicio al cliente. La meta de Seis Sigmas es producir piezas con un máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidades, entendiéndose como defecto, a cualquier producto/servicio que no logra cumplir los requerimientos del cliente.

Gurrola et al. (2014), presentan las siguientes definiciones con la finalidad de facilitar la comprensión:

Seis Sigmas: es una metodología para la solución de problemas que ayuda a la mejora y al buen desempeño organizacional de la empresa quien lo adopta.

Desempeño de Seis Sigmas: es un término estadístico por un proceso o procedimiento que busca generar solo 3,4 defectos o errores por cada millón de oportunidades.

Luego de analizar el empleo por varios autores del método de las seis sigmas en diferentes procesos se concluye que el mismo no ha sido empleado como estrategia de mantenimiento para mejorar el proceso de mantenimiento del sistema de transmisión por correas de la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 perteneciente a la Unidad de Producción de Mijaguito de la UPT. "J. J. Montilla" Estado Portuguesa, Venezuela.

De esta manera el problema del proyecto Seis Sigmas es el siguiente: la poca organización, planificación y control de las tareas relacionadas con el sistema de transmisión influye en el surgimiento de fallos y en la baja disponibilidad de dicho sistema.

MÉTODOS

Para desarrollar la investigación cuyos resultados se exponen en este artículo se emplearon métodos de investigación

arrive at a rational analysis.

The research was developed in the production unit of Mijaguito in 2015. It is located in Mijaguito Town, Páez Municipality and currently has 214 hectares, where academic activities are carried out as well as research and production projects of milk, sheep, laying hens, worm humus, sugarcane, corn, citrus and fodder.

For the application of the Six-Sigma method, the authors developed the following stages: define the problem, measure, analyze the root cause, improve and control.

The techniques used to collect the data were participant observation and consulting of official documents of the production unit (technical files and registries of maintenances).

As there was no historical data of excellent quality, the criticality analysis was carried out through interviews with maintenance personnel and the operator to know the necessary information on the frequency of failures and their consequences. The interview allowed defining the value given to the priority of the project.

Implementation of the Methodology of the Six Sigma. Calculation of the Six Sigma

To calculate the value of the Six Sigma, the following data were collected during the work of this machine: number of observed defects (d) four belts fail, number of units (U) 14 and number of opportunities (O) two.

The defect per unit (DPU) was calculated by the following formula:

$$DPU = \frac{d}{U} = 4/14 = 0,286 \quad (1)$$

Where:

d: number of observed defects.

U: number of units.

This metric reveals that there are 0.286 defects per unit (per belt).

Defects per opportunity (DPO)

$$DPO = \frac{d}{U \cdot O} = \frac{4}{14 \cdot 2} = 0,143 \quad (2)$$

Where:

O: number of opportunities.

This metric measures the non-quality of the process; in this case, it is only 14.3% of quality.

Defects per million opportunities (DPMO)

$$DPMO = DPO \cdot 1\,000\,000 = 0,143 \cdot 1\,000\,000 = 143\,000 \quad (3)$$

This index determines the predictable defects per million of failure opportunities, in this case, 143 000 failures are the defects expected in a million of opportunities.

According to Sexto (2004), the sigma level can be known depending on the defects per million opportunities (DPMO), in this case, it is 143 000. Therefore, sigma value is greater than two value, but smaller than three value.

From this sigma value, it is concluded, that the system can cause inadmissible consequences and losses during the corn harvest, therefore, it is necessary to implement the Six Sigma

teóricos como son: análisis y síntesis e histórico-lógico para el estudio del de la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 a través del tiempo y llegar a un análisis lógico.

La investigación se desarrolló en la unidad de producción de Mijaguito en el año 2015, está ubicada en la localidad de Mijaguito del municipio Páez, actualmente cuenta con 214 hectáreas, donde se realizan actividades académicas y se ejecutan proyectos de investigación y de producción de leche, ovinos, gallinas ponedoras, lombricultura, caña de azúcar, maíz, citricultura y forrajes.

Para la aplicación del método de las seis sigmas los autores se apoyan en las etapas siguientes: definir el problema, medir, analizar la causa-raíz, mejorar y controlar.

Las técnicas empleadas en la recolección de los datos fueron: observación participante, documentos oficiales de la unidad de producción: expedientes técnicos y registros de mantenimientos.

Como no se disponía de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad se realizó a través de entrevistas al personal de mantenimiento y al operador para conocer la información necesaria sobre la frecuencia de los fallos y sus consecuencias. La entrevista permitió definir el valor otorgado a la prioridad del proyecto.

Implementación de la metodología de las seis sigmas. Cálculo de las Seis Sigmas

Para el cálculo del valor de las Seis Sigmas se recolectaron durante el trabajo de esta máquina los siguientes datos: número de defectos observados (d) cuatro correas fallan, número de unidades (U) 14 y número de oportunidades (O) dos.

El defecto por unidad (DPU) se calculó por la ecuación siguiente:

$$DPU = \frac{d}{U} = 4/14 = 0,286 \quad (1)$$

donde:

d: número de defectos observados.

U: número de unidades.

Esta métrica da a conocer que surgen 0,286 defectos por unidad (por cada correa).

Defectos por oportunidad (DPO).

$$DPO = \frac{d}{U \cdot O} = \frac{4}{14 \cdot 2} = 0,143 \quad (2)$$

donde:

O: número de oportunidades.

Esta métrica mide la no calidad del proceso, en este caso es solamente del 14,3 % de calidad.

Defectos por millón de oportunidades (DPMO).

$$DPMO = DPO \cdot 100000 = 0,143 \cdot 1\,000\,000 = 143\,000 \quad (3)$$

Este índice determina los defectos esperados en un millón de oportunidades de fallos, en este caso los defectos que se esperan en un millón de oportunidades es de 143 000 fallos.

Según Sexto (2004), el nivel sigma se puede conocer en dependencia de los defectos por millón de oportunidades (DPMO) en este caso es igual a 143 000 por lo tanto el valor de sigma es mayor que dos pero menor que tres.

De este valor de sigma se concluye: que el sistema puede acarrear consecuencias y pérdidas inadmisibles durante la cosecha del

methodology in the belt transmission system.

First Stage, to Define the Problem

The combined of maize Massey Ferguson model MF 7252 of Mijaguito Production Unit (see Figure 1), presents different systems, 18 altogether, that allow the correct operation of this equipment. They have presented different failures during the operation.

The presence of faults in the machine systems, led to carry out interviews to the maintenance staff and the machine operator to know the most critical system. It allowed concluding that the faults that occur in the belts of the transmission system are responsible for paralyzing the machine and the corn harvesting. They occur with the following frequency: between 250 and 300 hours of work or between 350 to 400 hectares of work. This frequency is lower than that recommended by the manufacturer for changing the belts, which is between 500 and 650 hectares of work.

maíz, por lo tanto surge la necesidad de implementar la metodología de las Seis Sigmas en el sistema de transmisión por correas.

Primera etapa. Definir el problema

La cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo MF 7252, (Figura 1), de la unidad de producción Mijaguito, presenta diferentes sistemas, 18 en total, que permiten el correcto funcionamiento de este equipo, los mismos han presentado diferentes fallos durante la explotación.

La presencia de fallos, en los sistemas de la máquina, conllevó a realizar entrevistas al personal de mantenimiento y al operador de la máquina para conocer el subsistema más crítico, llegando a la conclusión que los fallos que ocurren en las correas del sistema de transmisión son los responsables de paralizar a la máquina y la cosecha del maíz, los mismos ocurren con la frecuencia siguiente: entre 250 y 300 horas de trabajo o entre 350 a 400 hectáreas de trabajo, siendo menor esta frecuencia que la recomendada por el fabricante, entre las 500 y 650 hectáreas de trabajo, para el cambio de las correas.



FIGURE 1. Massey Ferguson model MF 7252 combined of maize.
FIGURA 1. Cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo MF 7252.

The main failures that happen in the system of transmission by belts (see Figure 2), are the following ones: the tensions become loose, the belts stretch, vibrations of the system and the belts are broken.

Los principales fallos que ocurren en el sistema de transmisión por correas (Figura 2), son los siguientes: los tensores se aflojan, las correas se estiran, vibraciones del sistema y las correas se rompen.



FIGURE 2. Transmission system of the maize combined Massey Ferguson.
FIGURA 2. Sistema de transmisión de la cosechadora de maíz Massey Ferguson.

Critic Variables for the Work Quality (VCC) of the Combine

Critic variables that act in the failures and affect the quality of transmission towards the different subsystems that form the machine are proposed. They are quality of the belt material, tension mechanism of the belts, vibrations in the machine and the existing process of maintenance for the machine.

From the analysis of Table 1, it is concluded that the critic variables and of greater influence on the failure occurrence in the transmission system are the following ones: material of the belts, belt mechanism of tension and maintenance. Its priority is located between 4 and 5 and maintenance is the one of greater priority because it allows controlling the adjustments of the tension mechanism and, simultaneously, maintaining the system and the machine ready.

Variables críticas para la calidad del trabajo de la cosechadora (VCC)

Se proponen, las variables críticas que actúan en el surgimiento de fallos y afectan la calidad de transmisión hacia los diferentes subsistemas que forman la máquina, las VCC siguientes: calidad del material de las correas, mecanismo de tensión de las correas, las vibraciones existentes en la máquina y el proceso de mantenimiento existente para la máquina.

Del análisis de la Tabla 1 se concluye que las variables críticas y de mayor influencia hacia la ocurrencia de fallos en el sistema de transmisión son las siguientes: material de las correas, mecanismo de tensión de las correas y el mantenimiento. Su prioridad se sitúa entre 4 y 5, siendo en este caso el mantenimiento el de mayor prioridad debido a que el mismo permite controlar los ajustes del mecanismo de tensión y a la vez mantener disponible el sistema y a la máquina.

TABLE 1. Critic variables and their priority
TABLA 1. Variables críticas y su prioridad

Variable	Importance	Present situation	Priority in the project
Material of the belts	For the belt resistance.	It is not controlled	4
Mechanism of tension of the belts	It It is in charge of the tension and gets out of order with regularity.	It is controlled when the failure happens	4
Vibrations	TheyThey act on the belt mechanisms of tension and other mechanisms of the combined.	It is not controlled	3
Maintenance	To maintain the function of the transmission system.	It is not controlled	5

The quality of the belt material is out of the machine operators' control and the vibrations can be controlled with an effective process of maintenance.

From this study, it is concluded that the variable maintenance process is the one with the highest priority of the Six Sigma Project and it is the critical quality variable (VCC).

The previous analysis allows to list (Table 2), the critic quality variables of the maintenance process that influence in the availability of the system studied.

La calidad del material de las correas los explotadores de la máquina no lo pueden controlar y las vibraciones se pueden controlar con un efectivo proceso de mantenimiento.

De este estudio se concluye que la variable proceso de mantenimiento es la de mayor prioridad del proyecto de las Seis Sigmas, siendo la misma la variable crítica de calidad (VCC).

Esta conclusión permitirá listar en la Tabla 1 siguiente las variables críticas de calidad del proceso de mantenimiento que influyen en la disponibilidad del sistema que se estudia.

TABLE 2. Maintenance variables and their priority
TABLA 2. Variables del mantenimiento y su prioridad

Variable	Importance	Present situation	Priority in the project
Organization, planning and control	TheyThey allows planning the maintenance correctly and increasing the availability of the subsystem.	Bad	5
Human	Its qualification is important for the fulfillment of the technical services tasks of the maintenance cycle.	Regular	4
Technological	To know the characteristics of the machine in order to measure the belts tension and alignment.	Bad	4
Direction	ItIt coordinates and controls all the activities of the maintenance process.	Good	3

From Table 2, it is concluded that the variable of greater priority is the organization, planning and control of the process of maintenance related to the system of transmission of the combined. This way the problem of the project Six Sigma is as follows: the little organization, planning and control of the tasks

El análisis anterior permite listar (Tabla 2), las variables críticas de calidad del proceso de mantenimiento que influyen en la disponibilidad del sistema que se estudia.

De la Tabla 2 se concluye que la variable de mayor prioridad es la organización, planificación y control del proceso

related to the transmission system influence in the appearing of failures and the low availability of this system.

Problem Definition (D)

Problem: the appearing of failures in the belt transmission system of the combined of maize Massey Ferguson model MF 7252 causes the low availability of the machine.

In order to define the problem the technique of the four which is applied:

1. Which is the problem with the availability of the belt transmission system?

The appearing of failures in the belts after 250 and 300 working hours or 350 to 400 hectares of work.

2. Which is the magnitude of the problem?

The failures arise before the 500 hectares recommended by the manufacturer to replace the belts.

3. Which is the index of availability of the system compared with another combined of the same mark and model?

This datum is unknown.

4. Which is the impact of the low availability of the belt transmission system in the productivity of the machine?

The low availability of the system causes that the main mechanisms of combined do not work. This situation causes that the machine cannot collect the harvest until the system is available again.

Final Definition of the Problem: The appearing of failures in the belt transmission system causes the substitution of the belts before the hectares recommended by the manufacturer. That situation provokes the low availability of the system and, simultaneously, it avoids the machine collects the harvest until the transmission mechanism is ready again.

Second Stage, to Measure (M)

This stage was not developed because there was not any element related to the critic variables for the work quality of the combined.

Third Stage, to Analyze the Root Cause (A)

The objective of this stage is to identify the root cause(s) of the problem (to identify the vital X(s)), to understand how it (or they) generate the problem and to confirm the cause(s) with data. In order to reach this objective the techniques of the five why and the diagram of Ishikawa were used.

The use of the technique of the five why gave the following answers:

1. Why? The low availability of the machine
2. Why? Failures arise in the belt transmission system at random.
3. Why? The failures are not detected in advance in the transmission system
4. Why? The ignorance of the period of intervention and the tasks to execute in the transmission system.
5. Why? The little organization, planning and control of the process of maintenance of the combined

de mantenimiento relacionado con el sistema de transmisión de la cosechadora.

Definición del problema (D)

Problema: el surgimiento de fallos en el sistema de transmisión por correa de la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo MF 7252 trae consigo la baja disponibilidad de la máquina.

Para definir el problema se aplica la técnica de los cuatro cuáles:

1. ¿Cuál es el problema con la disponibilidad del sistema de transmisión por correa?

El surgimiento de fallos en las correas luego de 250 y 300 horas de trabajo o entre 350 a 400 hectáreas de trabajo.

2. ¿Cuál es la magnitud del problema?

Los fallos surgen antes de las 500 hectáreas recomendadas por el fabricante para sustituir las correas.

3. ¿Cuál es el índice de disponibilidad del sistema comparado con otra cosechadora de la misma marca y modelo?

Este dato se desconoce.

4. ¿Cuál es el impacto de la baja disponibilidad del sistema de transmisión por correa en la productividad de la máquina?

La baja disponibilidad del sistema provoca que los principales mecanismos de cosechadora no funcionen induciendo esta situación a que la máquina no pueda recolectar la cosecha hasta que no se vuelva a poner disponible el sistema.

Definición final del problema: El surgimiento de los fallos en el sistema de transmisión por correa provoca la sustitución de las correas antes de las hectáreas recomendadas por el fabricante induciendo esta situación en la baja disponibilidad del sistema y a la vez la máquina no puede recolectar la cosecha hasta que no se vuelva a poner disponible el mecanismo de transmisión.

Segunda etapa. Medir (M)

Esta etapa no se desarrolló por no existir ningún relacionado con las variables críticas para la calidad del trabajo de la cosechadora.

Tercera etapa. Analizar la causa- raíz (A)

El objetivo de esta etapa es identificar la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las X vitales), entender cómo es que estas generan el problema y confirmar las causas con datos. Para alcanzar este objetivo se utilizaran las técnicas de los cinco ¿por qué? y el diagrama de Ishikawa.

La utilización de la técnica de los cinco ¿por qué? arroja lo siguiente:

1. ¿Por qué? La baja disponibilidad de la máquina.
2. ¿Por qué? Surgen fallos en el sistema de transmisión por correas de forma aleatoria.
3. ¿Por qué? Los fallos no se detectan con antelación en el sistema de transmisión.
4. ¿Por qué? El desconocimiento del periodo de intervención y las tareas a ejecutar en el sistema de transmisión.
5. ¿Por qué? La poca organización, planificación y control del proceso de mantenimiento de la cosechadora.

The root cause of the problem, according to this technique, is the little organization, planning and control of the maintenance process of the combined.

The diagram of Ishikawa allows analyzing systematically the effects and the causes that produce the main problem. This analysis is developed through a brainstorm (Figure 3).

La causa raíz del problema según esta técnica es la poca organización, planificación y control del proceso de mantenimiento de la cosechadora.

El diagrama de Ishikawa permite analizar de forma sistemática los efectos y las causas que provocan el problema principal, este análisis se desarrolló a través de una tormenta de ideas (Figura 3).

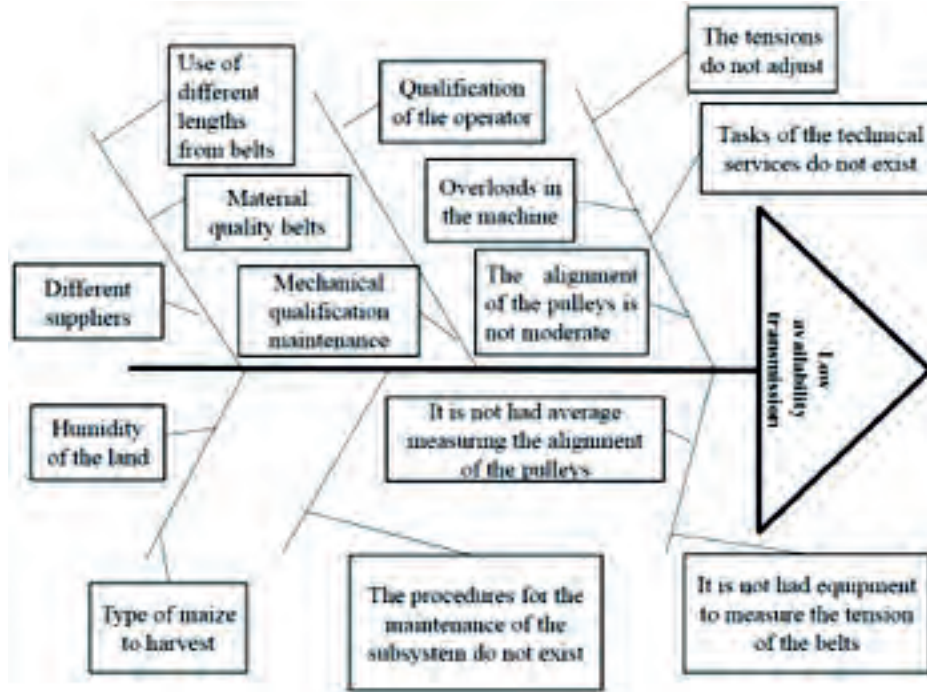


FIGURE 3. Fish thorn or Diagram of Ishikawa. Own source.
 FIGURA 3. Espina de pescado o diagrama de Ishikawa. Fuente propia.

From Ishikawa diagram, the following is concluded:

1. Fourteen causes were determined that affect the availability of the belt transmission subsystem.
2. Of them, eleven were related to the process of maintenance of the subsystem, representing 78.5 % of all the causes.
3. Therefore, the previous conclusion is related to the maintenance and to the organization, planning and control of the process of maintenance of the combined, therefore, this the root cause of the defined problem.

Next, the causes analyzed in Ishikawa diagram are related to the critic variables of quality of the maintenance process referred in Table 2.

Variable Organization, Planning and Control

1. Tasks of the technical services do not exist.
2. The procedures for the subsystem maintenance do not exist.
3. The tensions of the belts do not adjust.
4. The alignment of the pulleys is not measured
5. Quality of Belt Material
6. Overloads in the machine.
7. Use of different belt lengths.

Human Variable

1. Training of the combined operator.
2. Training of the maintenance technician.

Del diagrama de Ishikawa se concluye lo siguiente:

1. Se han determinado 14 causas que afectan la disponibilidad del subsistema de transmisión de correa.
2. De ellas 11 están relacionadas con el proceso de mantenimiento del subsistema, representando las mismas el 78,5 % con relación al total de las causas.
3. Por lo tanto la conclusión anterior se relaciona con el mantenimiento vinculándose estas causas con la organización, planificación y control del proceso de mantenimiento de la cosechadora, siendo esta la causa raíz del problema definido.

A continuación se relacionan las causas analizadas en el diagrama de Ishikawa con las variables críticas de la calidad del proceso de mantenimiento asentadas en la Tabla 2.

Variable organización, planificación y control

1. No existen tareas de los servicios técnicos.
2. No existen los procedimientos para el mantenimiento del subsistema.
3. No se ajustan los tensores de las correas.
4. No se mide la alineación de las poleas.
5. Calidad material correas.
6. Sobrecargas en la máquina.
7. Uso de diferentes longitudes de correas.

Variable humana

1. Capacitación del operador de la cosechadora.
2. Capacitación mecánico mantenimiento.

Variable Technology

1. There is not instrument to measure the belt tension.
2. There is not instrument to measure the pulleys alignment.

Variable Direction

There are not causes related to this variable.

The rest three different causes (suppliers, humidity of the land and type of maize to be harvested) do not have relation with the variables analyzed in Table 2.

Fourth Stage, to Improve the VCC (M)

The objective of this stage is to propose solutions that allow improving the root cause of the problem defined in the stage first. The possible solution that sets out for this problem is the elaboration and organization of the technical service tasks to be developed by the maintenance personnel of the belt transmission system of the combined.

The authors consider that a routine maintenance program, will keep the belts working without problems for a long time. Inspecting the belts before they fail allows avoiding production stoppages and costly delays.

Procedure to Fulfill for the Planned Preventive Maintenance of the Belt Transmission System of the Combined (Gates.com, 2014)

1. To maintain the security in the means of work, machine turned off;
2. To follow a program of routine inspection of the transmission;
3. To follow suitable procedures for belt installation;
4. To know the characteristics of the belts;
5. To perform yield evaluations of the transmission;
6. To know how to locate failures and to correct them.

The first step to elaborate the tasks of the technical services to carry out in planned preventive maintenance will be to fix the frequency of the inspections, according to the criticality of the transmissions.

After knowing the frequency of inspection, the technical services necessary to develop in the belt transmission system of the combined are determined. They will be two: simple inspection (I_p simple) and complete inspection (I_p complete).

Cycle of Repairing of Three Months (own elaboration)

After knowing the frequency of inspection, through an analysis of failure modes and effects (FMEA) developed together with this investigation, the necessary technical services that make up the repair cycle to be developed in the belt transmission system of the harvester are determined. They will be two: simple inspection (simple I_p) and complete inspection (complete I_p).

Tasks to Develop in the I_p Simple (Weekly)

1. Observe and listen.

Be attentive to observe and to listen to any vibration or abnormal sound while the operation of the transmission reviewed. A designed and maintained affluent transmission will work of smooth and quiet form.

Variable tecnología

1. No se dispone de equipos para medir la tensión de las correas.
2. No se dispone de medios para medir la alineación de las poleas.

Variable dirección

No existen causas relacionadas con esta variable.

Las restantes tres causas diferentes proveedores, humedad del terreno y tipo de maíz a cosechar no poseen relación con las variables analizadas en la Tabla 2.

Cuarta etapa. Mejorar las VCC (M)

El objetivo de esta etapa es proponer soluciones que permitan mejorar la causa raíz del problema definido en la etapa primera. La posible solución que se propone para este problema es la elaboración y organización de las tareas de los servicios técnicos a desarrollar por el personal de mantenimiento al sistema de transmisión por correas de la cosechadora.

Los autores son del criterio que por medio de un programa de mantenimiento rutinario, las correas funcionarán sin problemas durante mucho tiempo. Inspeccionar las correas antes de que fallen permite evitar paros de producción y retrasos costosos.

Procedimiento a cumplir para el mantenimiento preventivo planificado del sistema de transmisión por correas de la cosechadora (Gates.com, 2014)

1. Mantener la seguridad en el medio de trabajo, máquina apagada;
2. Seguir un programa de inspección rutinaria de la transmisión;
3. Seguir procedimientos adecuados de instalación de las correas;
4. Conocer las características de las correas;
5. Hacer evaluaciones de rendimiento de la transmisión;
6. Saber cómo localizar averías y corregirlas.

El primer paso para elaborar las tareas de los servicios técnicos a llevar a cabo en mantenimiento preventivo planificado para el sistema de transmisión por correa de la cosechadora será fijar según la criticidad de las transmisiones la frecuencia de las inspecciones a desarrollar en el mismo.

Ciclo de reparación y sus servicios técnicos

Luego de conocer la frecuencia de inspección, a través de un análisis de modos y efectos de fallos (AMEF) desarrollado junto a esta investigación, se determinan los servicios técnicos necesarios que componen el ciclo de reparación a desarrollar en el sistema de transmisión por correa de la cosechadora, los mismos serán dos: inspección simple ($I_{p\ simple}$) e inspección completa ($I_{p\ completa}$).

Tareas a desarrollar en la $I_{p\ simple}$. Semanal.

1. Observe y escuche.

Esté atento a observar y escuchar cualquier vibración o sonido anormal mientras se revisa el funcionamiento de la transmisión. Una transmisión bien diseñada y mantenida funcionará de forma suave y silenciosa.

2. Inspect the protection and the temperature of the belts.

Inspect the protection to see if it is loose or damaged. Maintain it free of residues or accumulation of dust and dirt. Temperature constitutes an important factor of the belt yield and duration. For example, if the temperature of the elements that surround the belts increases over 60 °C, the internal temperature of the belts increases in 10 °C.

3. To review if there are any oil and grease leaks.

The leaks of oil and grease can indicate too much lubricated bearings. If the oil or the grease touches the rubber components, these ones could be swollen and twist, causing an early failure of the belts.

4. Retire the protection and review if there are damages. Inspect if there are indications of wearing or friction between the components of the transmission. Clean the protection if it were necessary.

5. Inspect the belts to check if there were wearing or damage. Replace them if it is necessary.

The analysis of signals of wearing or abnormal damages allows locating and correcting possible problems in the transmission.

Review the cracks of the belts, areas with breakage, cuts or indications of abnormal wearing. Verify the temperature of the belts in case there is excessive heat.

Although the belts in fact warmed up during their operation, their temperature never must exceed certain limits. If the belts are too hot, maybe some maintenance change could be necessary. Human hands can tolerate temperatures until around 45 °C. That could provide some reference on the belts temperature: if the operator cannot maintain the belts on his hands, he should check the cause of the excess of heat. The belts have to be replaced if obvious indications of cracks, breakage or abnormal wears exist.

6. Inspect the other components of the transmission such as bearings, axes, assembly of the motor and adjustment track guides.

7. Review the tension of the belts and tighten them if it were necessary.

If little tension is applied, the trapezoidal belts can slide or the teeth of the synchronous belts can jump.

The correct tension is the lowest tension to which the belts can transmit power when the transmission works to full capacity. The general procedure to verify the tension of the belts is according to Gates.com (2014) as follows:

- A. Measure, in the center of the branch (t), the deflection force necessary to obtain an arrow of 2 mm every 100 mm of length of the branch (synchronous belts) or 1 mm every 100 mm length of the branch (trapezoidal belts) from the normal position of the belt.
- B. If the force measured is less than the recommended minimum deflection force, the belts must be tensioned again.
- C. New belts have to be tensioned until the deflection force is as close as possible to the maximum recommended deflection force.
- D. To facilitate the measurement of the voltage, use a sonic tension meter

8. Review the alignment of the pulleys.

9. Reinstall the protection of the transmission.

10. Make the transmission system work. Observe and listen to any indication outside the normal functioning.

2. Inspeccione la protección y la temperatura de la correa.

Inspeccione la protección para ver si está floja o dañada. Manténgala libre de residuos o acumulación de polvo y suciedad. La temperatura constituye un factor importante del rendimiento y duración de la correa. Por ejemplo, si la temperatura de los elementos que rodean la correa aumenta por encima de 60 °C, la temperatura interna de la correa aumenta en 10 °C.

3. Revise si existen salideros de aceite y grasa.

Los salideros pueden indicar cojinetes demasiado lubricados. Si el aceite o la grasa toca los componentes de caucho, éste podría hincharse y retorcerse, causando un fallo prematuro de la correa.

4. Retire la protección y revise si hay daños. Inspeccione si hay indicios de desgaste o roce con los componentes de la transmisión. Limpie la protección según sea necesario.

5. Inspeccione la correa por si hay desgaste o daño. Cámbiela según sea necesario.

El análisis de señales de desgaste o daños anormales le permite localizar y corregir posibles problemas en la transmisión.

Recorra la(s) correa(s) revisando grietas, áreas con roturas, cortes o indicios de desgaste anormal. Verifique la temperatura de la correa por si hay calor excesivo.

Aunque las correas de hecho se calientan durante su funcionamiento, su temperatura nunca debe sobrepasar ciertos límites. Su mano puede tolerar una temperatura hasta alrededor de 45 °C; si las correas están demasiado calientes, puede que se necesita algún cambio de mantenimiento. Esto ofrece una buena orientación sobre la temperatura de la correa: si no la puede sostener con la mano deberá revisar la causa del exceso de calor. Hay que reemplazar las correas si existen indicaciones obvias de grietas, roturas, desgaste anormal.

6. Inspeccione los otros componentes de la transmisión tales como rodamientos, ejes, montaje del motor y guías correderas de ajuste.

7. Revise la tensión de la correa y ajústela según sea necesario.

Si se aplica muy poca tensión, las correas trapezoidales pueden patinar o los dientes de las correas síncronas pueden saltar.

La tensión correcta es la más baja a la que las correas puedan transmitir potencia cuando la transmisión funcione a plena capacidad. El procedimiento general para verificar la tensión de la correa es el siguiente (Gates.com, 2014):

- A. Mida, en el centro del ramal (t), la fuerza de deflexión necesaria para obtener una flecha de 2 mm por cada 100 mm de longitud del ramal (correas síncronas) o 1 mm por cada 100 mm de longitud del ramal (correas trapezoidales) de la posición normal de la correa.
- B. Si la fuerza medida es inferior a la fuerza de deflexión mínima recomendada, hay que volver a tensar las correas.
- C. Las correas nuevas tienen que tensarse hasta que la fuerza de deflexión sea lo más cerca posible de la fuerza de deflexión máxima recomendada.
- D. Para facilitar la medición de la tensión utilice un tensiómetro sónico.

8. Revise la alineación de las poleas.

9. Reinstale la protección de la transmisión.

10. Haga funcionar el sistema de transmisión. Observe y escuche cualquier indicio fuera de lo normal.

Tasks to Develop in the Complete Inspection I_p (Every three months)

1. To make all the tasks of the simple inspection.
2. To inspect the pulleys in case wearing or damage exists, to change if they wore away.
3. The wearing down is not always noticed. Use gauges to inspect the trapezia grooves.
4. To review the alignment of the pulleys.

It is always advisable to review the alignment and the suitable assembly of the pulleys.

In order to inspect the alignment, a rule is the only device required, and for systems of transmission with long centers, a rigid cord.

Fifth Stage, to Control to Maintain the Improvement (C)

Aspects to control in the maintenance process of the combined:

1. The emission of the orders of works corresponding to the planned maintenances and the unexpected failures.
2. The tension of the belts and the alignment of the pulleys according to the frequency fixed to the described technical services in the fourth stage.
3. The fulfillment of the tasks of the two technical services presented in stage four.

CONCLUSIONS

- The application of the Six Sigma method in the Massey Ferguson corn harvester model 7252 in the Production Unit of Mijaguito of the UPT. "J. J. Montilla" Portuguesa State, Venezuela allowed knowing that the variable maintenance process is the highest priority of the project of the Six Sigma, which is the critic variable for the quality of the work of the harvester and the belt drive system.
- The application of the Six Sigma method in the Massey Ferguson model 7252 corn harvester allowed for the belt transmission system determining its repair cycle and the tasks of the two technical services that make it up. The application of the Six Sigma method contributes to the improvement of the maintenance process of the Massey Ferguson corn harvester model 7252, in the Production Unit of Mijaguito of the UPT, "J. J. Montilla" Estado de Portuguesa, Venezuela. It also contributes to the continuous improvement of the management of the combined readiness.

Tareas a desarrollar en la inspección completa ($I_{p\text{ completa}}$). Cada tres meses

1. Realizar todas las tareas de la inspección simple.
2. Inspeccione las poleas por si existe desgaste o daño. Sustitúyalas si están gastadas.
3. El desgaste no siempre salta a la vista. Utilice galgas para inspeccionar las ranuras trapezoidales.
4. Revise la alineación de las poleas.

Es siempre recomendable revisar la alineación y el adecuado montaje de las poleas.

Para inspeccionar la alineación, todo lo que necesita es una regla, y para sistemas de transmisión con centros largos, una cuerda rígida.

Quinta etapa. Controlar para mantener la mejora (C)

Aspectos a controlar en el proceso de mantenimiento de la cosechadora.

1. La emisión de las órdenes de trabajos correspondientes a los mantenimientos planificados y a los fallos imprevistos.
2. La tensión de las correas y la alineación de las poleas según la frecuencia fijada en los servicios técnicos descritos en la cuarta etapa.
3. El cumplimiento de las tareas de los dos servicios técnicos presentados en la etapa cuatro

CONCLUSIONES

- La aplicación del método de las Seis Sigmas en la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 en la Unidad de Producción de Mijaguito de la UPT. "J. J. Montilla" estado Portuguesa, Venezuela permitió conocer que la variable proceso de mantenimiento es la de mayor prioridad del proyecto de las seis sigmas, siendo la misma la variable crítica para la calidad del trabajo de la cosechadora y del sistema de transmisión por correa.
- La aplicación del método de las Seis Sigmas en la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 permitió determinar para el sistema de transmisión por correa su ciclo de reparación y las tareas de los dos servicios técnicos que componen al mismo.
- La aplicación del método Seis Sigma contribuye en la mejora del proceso de mantenimiento y en la mejora continua de la gestión de la disponibilidad de la cosechadora de maíz Massey Ferguson modelo 7252 en la Unidad de Producción de Mijaguito de la UPT. "J. J. Montilla" estado Portuguesa, Venezuela.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DÍAZ, Z.L.P.: Seis sigmas, una filosofía de calidad para la estabilización y control de procesos en el departamento de ventas en una empresa comercializadora de productos de consumo, Inst. Empresa comercializadora de Productos de Consumo, Guatemala, 2005.
- FELIZZOLA, J.H.; LUNA, A.C.: "Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico", Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 22(2): 263-277, 2014, ISSN: 0718-3305, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>.
- GATES.COM: Mantenimiento preventivo de correas y transmisiones para un rendimiento duradero y óptimo, [en línea], 2014, Disponible en: www.gates.com/europe/file_display_common.cfm?thispath, [Consulta: 15 de enero de 2014].

- GURROLA, P.E.E.; FERNÁNDEZ, G.C.C.; RUÍZ, S.M.M.; PÉREZ, O.I.J.C.: “Seis sigmas aplicadas en la reducción del uso de herramientas en línea de producción de catéteres”, [en línea], En: Ingeniería de procesos: Casos prácticos. Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín. Director de Obra, Ed. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Primera ed., México, marzo de 2014, ISBN: 978-607-8262-03-8, Disponible en: www.utcj.edu.mx.
- IGARZA, D.R.: Metodología integral para la evaluación de los índices tecnológicos y de explotación, de fiabilidad y las pérdidas de granos en el proceso de cosecha de la máquina cosechadora de arroz modelo New Holland TC 57, Universidad de Holguín, MSc. Thesis, Holguín, Cuba, 2012.
- JASSO, J.R.G.; PÉREZ, O.I.J.C.; PÉREZ, L.A.D.; SÁENZ, B.M.A.: “Aplicación de la metodología seis sigma para disminuir la variación de medición de la carga del resorte de fricción.”, [en línea], En: Ingeniería de procesos: Casos prácticos. Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín. Director de Obra, Ed. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Primera ed., México, marzo de 2014, ISBN: 978-607-8262-03-8, Disponible en: www.utcj.edu.mx.
- JIMÉNEZ, L.J.A.: El método de seis sigmas en la industria de la construcción para vivienda en serie, Instituto Tecnológico de la Construcción, MSc.Thesis, Administración de la Construcción, Chihuahua, México, 2005.
- LEAL, T.R.E.: Aplicación de la metodología MAMC de seis sigmas sobre activos de la flota de venta de maquinaria pesada, Inst. Empresa comercializadora de Productos de Consumo, Guatemala, 2005.
- MENDOZA, E.; RIVERA, H.; GARNICA, J.; HERNÁNDEZ, E.S.: “Optimización de parámetros de control de pruebas de emisiones diésel con técnicas de Seis Sigma”, En: Congreso Internacional de Investigación, ser. 4, Ed. Academia Journals, vol. 6, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, pp. 1066-1071, 2014.
- PANEQUE-RONDÓN, P.; LÓPEZ-CANTEÑS, G.; MAYANS-CÉSPEDES, P.; MUÑOZ-GÓMEZ, F.; GAYTÁN-RÚELAS, J.G.; ROMANTCHIK-KRIUCHKOVA, E.: Fundamentos Teóricos y Análisis de Máquinas Agrícolas, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, vol. 1, Chapingo, Texcoco, México, 456 p., 2018, ISBN: 978-607-12-0532-2.
- RIVAS, J.R.: Capítulo 1 Introducción, [en línea], Bitstream, 2004, Disponible en: www.tdx.cat/bitstream/10803/6733/6/06Jrr06de27, [Consulta: 6 de enero de 2014].
- SANTIAGO, E.A.D.; PÉREZ, O.I.J.C.; RUÍZ, S.M.M.; GUEVARA, F.N.F.: “Reducción de defectos por medio de Seis Sigma.”, [en línea], En: Ingeniería de procesos: Casos prácticos. Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín. Director de Obra, Ed. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Primera ed., México, marzo de 2014, ISBN: 978-607-8262-03-8, Disponible en: www.utcj.edu.mx.
- SEXTO, L.F.: “Nivel de Calidad Seis Sigma: Paradigma del Mantenimiento a Sistemas Críticos”, En: Proceedings del 4. Congreso Peruano de Ingeniería de Mantenimiento, Lima, Perú, 2004.
- ZEGARRA, M.: “Seis Sigma para la mejora continua en el mantenimiento de equipos pesados en empresas constructoras medianas”, Ciencia y Desarrollo, 17(2), diciembre de 2014, ISSN: 2409-2045, DOI: <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2014.v17i2.02>.
- ZULUAGA, A.P.: Aplicación de la metodología Six sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmeccánica, Universidad de Medellín, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, MSc. Thesis, Logística, Medellín, Colombia, 2016.

Elio Rafael Hidalgo Batista, profesor, Universidad de Holguín, Avenida XX Aniversario s/n Reparto Piedra Blanca, Holguín, Cuba, e-mail: elio@uho.edu.cu
William Romero, professor, Universidad Politécnica Territorial “J. J. Montilla”, Estado Portuguesa, Venezuela. e-mail: romerowillportuguesa@hotmail.com
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.