



Ingeniería Mecánica

ISSN: 1815-5944

Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior
Politécnico

González Echavarría, Jorge A.; Martínez Delgado, Edith; Barreto San
Germán, Eder L.; Espinosa Alfonso, Víctor M.; Cabrera Gómez, Jesús

Modelo con enfoque logístico para diagnosticar la gestión
de mantenimiento de una entidad productora de envases

Ingeniería Mecánica, vol. 23, núm. 2, e600, 2020, Mayo-Agosto
Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225164987003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UDEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Modelo con enfoque logístico para diagnosticar la gestión de mantenimiento de una entidad productora de envases

Model with logistical approach to diagnose maintenance in a packaging producer company

Jorge A. González Echavarría^{I,V}, Edith Martínez Delgado^{II,*},
Eder L. Barreto San Germán^{III,II}, Víctor M. Espinosa Alfonso^{IV,II}, Jesús Cabrera Gómez^V

I. Empresa de envases y recipientes metálicos. La Habana, Cuba

II. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana, Cuba

III. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba

IV. Centro para la Producción de Animales de Laboratorio. La Habana, Cuba

V. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. La Habana, Cuba

* Autor de correspondencia: edithmd@ind.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](#)



Recibido: 2 de marzo de 2020

Aceptado: 30 de abril de 2020

Resumen

La Logística constituye una herramienta de apoyo para la gestión del mantenimiento. Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo con enfoque logístico para diagnosticar la gestión del mantenimiento y sobre esta base, proyectar las soluciones que contribuyesen al aumento de la disponibilidad de los activos en la organización estudiada. El empleo de métodos como la observación, análisis documental, modelo de diagnóstico, gráfico de barra, Diagrama Ishikawa, Modelo General de Organización, método de las estimaciones, diagrama de Gantt, Método Multiatributo Scoring, Diagrama Pareto y el Modelo de

Aseguramiento al Proceso, permitieron identificar las causas y sub-causas que afectan la gestión del mantenimiento, calcular los ciclos logísticos de aprovisionamiento, jerarquizar los equipos críticos como base para determinar las piezas de repuesto e insumos más priorizados para su compra y documentar las actividades que conforman el aseguramiento al proceso de mantenimiento, contribuyendo a una mayor disponibilidad de los activos de la entidad.

Palabras claves: diagnóstico; mantenimiento; logística; enfoque multicriterio.

Abstract

Logistics is a support tool for maintenance management. The objective of this research was to develop a model with logistical approach to diagnose maintenance management and, on this basis, to project solutions that would contribute to increasing the availability of assets in the organization studied. The use of methods such as observation, documentary analysis, diagnostic model, bar graph, Ishikawa Diagram, General Organization Model, Estimates Method, Gantt Diagram, Scoring Multi-Attribute Method, Pareto Diagram and the Process Assurance Model, allowed to

identify the causes and sub-causes that affect maintenance management, calculate supply logistics cycles, prioritize critical equipment as the basis for determining the most prioritized spare parts and supplies for purchase and documenting the activities that make up the assurance of the maintenance process, contributing to a greater availability of the entity's assets.

Key words: diagnosis; maintenance; logistics; multicriteria approach.

Cómo citar este artículo:

González Echavarría JA, Martínez Delgado E, Barreto San Germán EL, et al. Modelo con enfoque logístico para diagnosticar la gestión de mantenimiento de activos de una entidad productora de envases. Ingeniería Mecánica. 2020;23(2):e600. ISSN 1815-5944.

Introducción

En la actualidad el envase, además de cumplir con sus funciones básicas, se está transformando en un medio de sofisticadas interacciones con su contenido y en un registro de información relevante tanto para el consumidor final como para los actores intermedios de la cadena de valor; de esta forma, la calidad de los envases también es la base para que éstos se conviertan en envases activos e inteligentes [1]. De ahí la necesidad de potenciar la industria productora de envases no solamente con inversiones sino detectando las posibilidades de mejorar su desempeño en aras de incrementar su nivel productivo y con ello satisfacer las demandas crecientes de envases.

Por otra parte, el mantenimiento, sea éste un proceso clave o de apoyo, es de vital importancia en una organización y está asociado con el empleo de técnicas para asegurar el correcto y continuo uso de equipos, maquinaria, instalaciones y servicios, durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento [2]. Independientemente que en cada rama de la ingeniería cambian los objetos que se han de cuidar, es la función de mantener, la que prima sobre la ingeniería en general, lo cual permite afirmar la importancia del mantenimiento industrial, el cual está orientado a maximizar el rendimiento del proceso productivo [3, 4]. Pero el mantenimiento ha de gestionarse, sin embargo, una vez más se evidencia la debilidad de su gestión [5]. Esta investigación referenciada, que a través de un análisis factorial exploratorio estructura un modelo de gestión de mantenimiento basado en el ciclo Deming, muestra cómo la mayoría de las pymes evaluadas se encuentran en la etapa de mantenimiento reactivo. Una adecuada gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la actividad productiva [6], asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, así como minimizar los riesgos para las personas y efectos negativos sobre el medio ambiente.

Otro aspecto necesario es la interrelación, en la medida que se considere la necesidad de comunicación entre las áreas para gestionar el mantenimiento, se manifiesta la conveniencia de aplicar un enfoque logístico, capaz de lograr la integración entre las distintas partes de la organización y como plantea uno de los preceptos que la rigen, gestionar la empresa como un flujo único y equilibrado [7]. La Logística es la estrategia que permite en cada caso cumplir los requisitos que pide el cliente con la máxima seguridad y la combinación racional de costos, recursos y stocks, en estrecha colaboración con los integrantes de la cadena de suministro global. En [8] se reconoce como el centro de las tareas logísticas, a las actividades de aprovisionamiento, producción y distribución.

Diversas investigaciones evidencian que el mantenimiento puede verse como una opción segura para optimizar el proceso logístico, pero pocos son los trabajos reportados en los que se emplee la Logística como guía para lograr una adecuada gestión del mantenimiento; de eso se trata en el trabajo que se presenta. Múltiples conceptos de Logística han sido brindados por distintos investigadores, pero se puede considerar como el más acabado el presentado en [7]. Sobre la base de este concepto, es criterio de los autores de la presente investigación, que la **Logística del mantenimiento** pudiera verse como la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar la capacidad de una organización con sus flujos sincronizados para proporcionar, bajo demanda y en unas condiciones dadas, los recursos necesarios para preservar una unidad funcional, atendiendo a una política determinada de mantenimiento. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas logísticos constituye el cuello de botella del desarrollo gerencial [9], lo que se ha podido constatar a través del empleo del Modelo de Referencia Logística, si además se tiene en cuenta el enfoque antes referido, la Logística como herramienta de apoyo al mantenimiento, se evidencia la necesidad que hubo de investigar en este sentido.

La entidad objeto de análisis en la presente investigación se inserta en la industria productora de envases metálicos y posee una tecnología avanzada con instalaciones automatizadas y controladas a nivel de software. Por otro lado, la necesidad de hacer frente a la creciente demanda de envases metálicos del mercado nacional, condiciona que esté inmersa en el mejoramiento del proceso de mantenimiento. Éste es esencial para contribuir a la disponibilidad de los activos dedicados a la fabricación; tanto de los productos terminados (que es su producción fundamental) como de piezas de repuestos de características muy específicas, que garantizan a las primeras y se producen en menor cuantía.

La gerencia de la entidad de interés investigativo reconoce aspectos disfuncionales tales como: la ocurrencia reiterada de fallos imprevistos de los activos, la dilatación del tiempo empleado en la realización de las acciones correctivas de mantenimiento y la no disponibilidad de las partes, piezas y accesorios. Dichos aspectos disfuncionales conforman la problemática a resolver en la presente investigación, teniendo como punto de partida la no disponibilidad de los activos, de ahí que pudiera formularse el problema a resolver de la manera que sigue: ¿Cómo contribuir al aumento de la disponibilidad de los activos de la entidad, considerando el aseguramiento logístico al proceso de mantenimiento?

Para dar respuesta al problema formulado se diseñó la investigación partiendo de la concepción de un modelo que con un enfoque logístico permite realizar un diagnóstico de la gestión del mantenimiento, identificándose las oportunidades de mejora y llegándose a la proyección de soluciones que contribuyen al aumento de la disponibilidad de los activos en la organización estudiada. Las principales oportunidades de mejoras identificadas fueron las relativas a los métodos de gestión del mantenimiento, la escasez de partes y piezas de repuesto y la forma en que éstas se gestionan, así como la insuficiencia de la documentación del quehacer de los actores del proceso. Mientras que la proyección de soluciones permitió conocer los aspectos que siguen:

- Existencia de altos valores de los ciclos de aprovisionamiento.
- Los equipos más críticos fueron las máquinas soldadoras Soucan 650 y la 110, constituyendo prioridades para la compra de las piezas de repuesto e insumos que requieren.
- El empleo del Modelo de Aseguramiento al Proceso de mantenimiento permitió la descripción de las actividades que conforman el ciclo de sus elementos con énfasis en materias primas y materiales así como la especificación del contenido de las piezas de repuesto e insumos más críticos

Los resultados anteriores muestran la efectividad del modelo de diagnóstico propuesto y los otros métodos empleados, contribuyendo de esta forma a una mayor disponibilidad de los activos de la entidad.

Métodos y Materiales

La base conceptual del modelo de diagnóstico que se propone parte de la experiencia teórica y práctica, acumuladas como profesional de los autores del trabajo y a continuación se enfatizan algunos aspectos:

- Múltiples son los modelos de diagnóstico desarrollados en los que se pueden distinguir similitudes y diferencias [10]. Como se plantea en el trabajo referenciado, es la etapa del análisis de la situación actual, el contenido que puede considerarse como el núcleo del diagnóstico, es el más factible de desglosar y el que aporta la mayor diferencia en el método de diagnóstico empleado; el cual depende del objetivo que se persigue con el diagnóstico en cuestión.
- Resulta conveniente la consideración de las herramientas que permiten gestionar la Logística, en este caso aplicadas al mantenimiento; haciendo uso de elementos contentivos en el Modelo General de Organización (MGO) y el Modelo de Aseguramiento al Proceso (MAP) [11, 12]. El MGO es la representación de la actuación general del sistema logístico y a cuyos parámetros, los procesos individuales subordinan su funcionamiento autónomo para garantizar la acción sincronizada de todo el sistema en función del cliente. El MAP, herramienta que sirve para diagnosticar y (o) proyectar soluciones, se ha conceptualizado como el conjunto de recursos, servicios y condiciones que deben asegurarse según determinados métodos, calidades, momentos y cantidades para garantizar el desempeño de un proceso de acuerdo a determinados estándares. Éste expresa la forma de asegurar dinámicamente las condiciones para el desempeño de un proceso en función del diseño realizado en el mismo, es la base para planificar y controlar los presupuestos y constituye la base fundamental de la Logística del aprovisionamiento. El contenido del MGO y los elementos que componen al MAP se muestran en la figura 1. Se consideran los preceptos de la filosofía gerencial, en especial aquellos que prevalecen en el enfoque logístico. De esta forma se presta especial atención al enfoque al cliente del proceso de mantenimiento tanto externo como interno, así como a su gestión como un flujo único y equilibrado. **Sistema de producción**

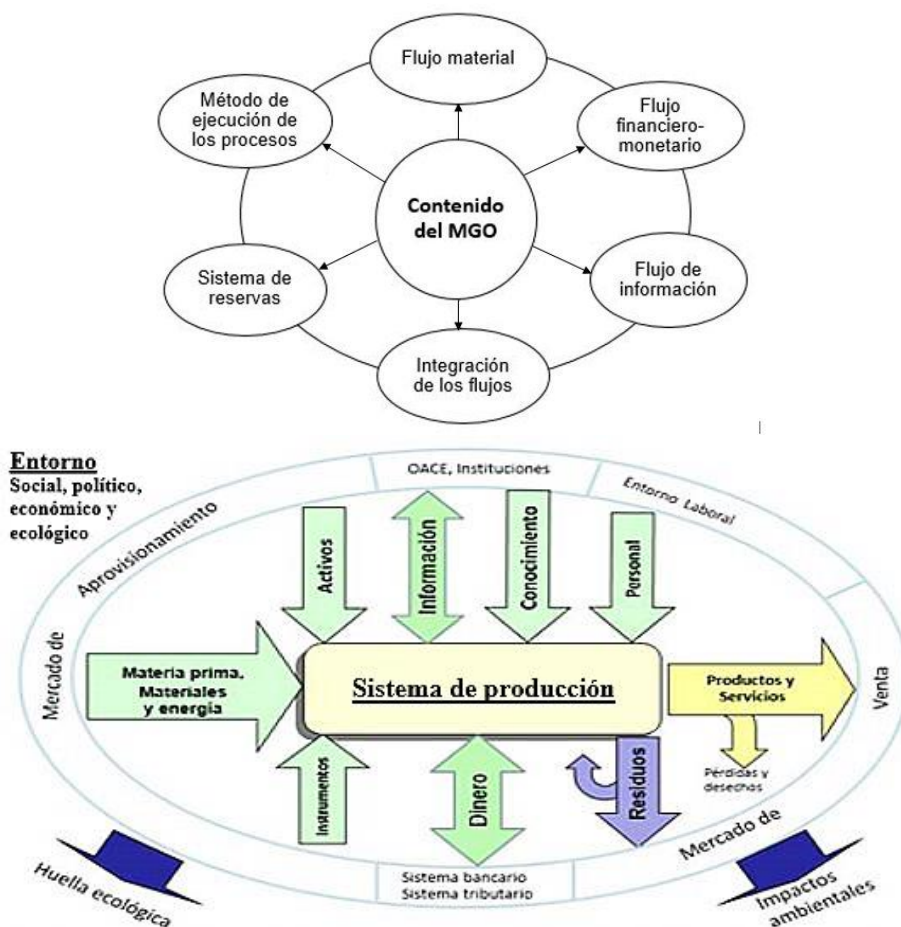


Fig.1. Contenido de las herramientas logísticas MGO y MAP. Fuente: autores

- La solución de conflictos que surgen por la integración, se resuelve a través del enfoque multicriterio. En la medida que existe una gestión más coordinada y abarcadora entre los diferentes procesos y áreas

de una organización, van surgiendo mayores contradicciones entre los distintos intereses y objetivos que guían el proceso de toma de decisiones. De esta forma, no es posible llegar a una decisión final satisfaciendo al máximo todos los objetivos e intereses que intervienen, por tanto, la existencia de criterios en conflictos (*trade-off*) requiere ser considerada y resuelta en la modelación del sistema. Para el tratamiento cuantitativo de esta situación es necesario definir cuáles criterios considerar y con qué prioridades, de modo que se ajusten a la situación más crítica de la empresa, disponiendo los recursos para el cumplimiento del objetivo más importante. Múltiples son los autores que conceptualizan este enfoque, evidenciando la diversidad de criterios a utilizar según las aplicaciones, así como los métodos de solución [13, 14, 15].

- Se consideran otras investigaciones desarrolladas, los modelos descritos y planteamientos de sus autores. Una muestra de trabajos consultados que tratan la gestión del mantenimiento se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de una muestra de trabajos consultados. Fuente: autores

Autores	Título	Objetivo	Herramientas
Gómez EM, et al, 2016 [15]	Herramienta Informática para el análisis de criticidad de activos: Modelos personalizados.	Obtener la jerarquización de activos según criticidad	Concepción basada en modelos matemáticos clásicos para la obtención de la criticidad
Díaz A, et al, 2019 [16]	Methodology for maintenance management base on diagnostic criteria.	Diagnosticar el estado de la gestión de mantenimiento	Lista de chequeo basada en criterios de diagnóstico por áreas funcionales
Viveros P, 2013 [6]	Proposal of a maintenance management model and its main support tools	Lograr una gestión integrada del mantenimiento sobre la base de la mejora continua.	Matriz de criticidad, elementos del RCM y del Análisis Causa raíz, E-Maintenance (apoyo informático e internet)

A pesar de los puntos de contactos de éstos con la investigación desarrollada, existen diferencias entre las que se pueden plantear las que siguen. En diversos trabajos se realiza el análisis de criticidad con métodos clásicos definidos para este fin como en [16], aunque en particular, se apoya en la concepción teórica de una herramienta informática. En [17] se emplea como sostén una lista de chequeo basada en criterios de diagnóstico, mientras que en [6] se propone un modelo muy abarcador para la gestión del mantenimiento, que incluye la planificación, programación y ejecución de su gestión. Sugiere y desarrolla en mayor o menor medida, un grupo de herramientas principales a emplear en cada etapa, pero sin especificar el cómo en todos los casos, incluyendo entre las carencias, la no descripción de la determinación de las piezas críticas de repuesto; además, no se refiere aplicación como tal del modelo, sino que se queda en la concepción teórica.

Presentación del modelo de diagnóstico

Se expone el contenido del modelo de diagnóstico concebido, a partir de su base conceptual. Un esquema del mismo se muestra en la Figura 2, donde se puede apreciar que la segunda etapa, el análisis de la situación actual que incluye al análisis de los factores internos y externos, es el núcleo del diagnóstico, que tiene gran influencia sobre la organización de la actividad de mantenimiento y sobre la disponibilidad del equipamiento productivo. Son de suma importancia las herramientas que se proponen para la recolección, procesamiento de datos e interpretación de los resultados que se obtienen.

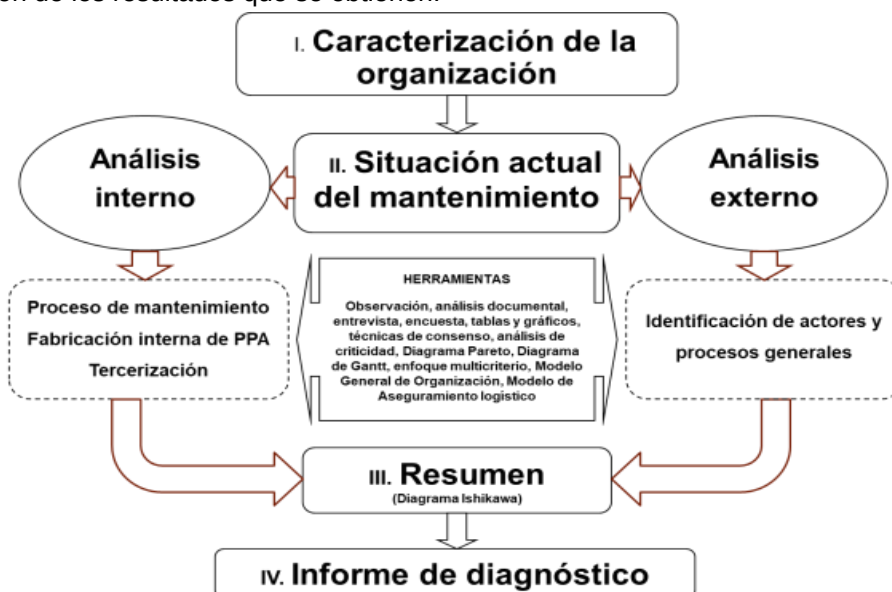


Fig. 2. Esquema del modelo de diagnóstico. Fuente: autores

Una exposición de cada etapa del modelo se muestra a continuación:

Etapa I. Caracterización de la organización

El objetivo de esta etapa es conocer las características generales de la entidad y en particular del lugar específico donde se realiza la investigación. Entre los aspectos a considerar para dicha caracterización están: la misión, la visión, el objeto social, la estructura organizativa, la cartera de productos, los estándares regulatorios, el estado actual de las instalaciones y los principales indicadores de desempeño.

Etapa II. Situación actual del mantenimiento

El objetivo de la segunda etapa, es identificar los aspectos que influyen directa e indirectamente en la gestión del mantenimiento e ir detectando los puntos fuertes y débiles que pueden incidir en la mejora de la disponibilidad de los activos. El análisis se realiza sobre la base tanto de un análisis interno, como externo. El análisis interno se centra en la descripción del proceso de mantenimiento a partir de un enfoque logístico especificándose cómo es el flujo informativo, financiero y material del proceso de mantenimiento. También se sugiere el análisis de indicadores relativos al mantenimiento tales como: tiempos de paro, cantidad de intervenciones, entre otros importantes. El análisis externo pone su atención en los agentes externos al mantenimiento, determinando así las principales deficiencias que presentan éstos en su interacción con el proceso de mantenimiento. Este análisis se enfoca en el análisis de los distintos subsistemas logísticos que tengan lugar en la organización en relación al proceso de mantenimiento. El mismo debe realizarse de manera crítica con el fin de detectar deficiencias relacionadas con el mantenimiento y sus operaciones.

Etapa III. Resumen de las deficiencias encontradas en el diagnóstico

La tercera etapa tiene como objetivo ordenar y sintetizar las oportunidades de mejora que son detectadas a través del análisis crítico realizado en la etapa anterior. Después de la recopilación de información acerca de la situación actual del proceso de mantenimiento y el análisis correspondiente, se debe proceder a resumir aquellos aspectos que constituyen trabas al buen desempeño de la organización. El análisis permite identificar las deficiencias encontradas a lo largo del diagnóstico. Se sugiere el empleo de alguna herramienta gráfica o tabular que posibilite de manera rápida y resumida visualizar las causas que provocan las insuficiencias identificadas; agrupando las mismas en las distintas dimensiones con las que se corresponda cada una, tales como gráficos de barra, gráficos de pastel, Diagrama Ishikawa e Inograf. Asimismo, se deben valorar aquellas herramientas logísticas e ingenieriles en general, que más se ajusten a las necesidades de los problemas a resolver y que facilite el análisis.

Etapa IV. Elaboración del informe de diagnóstico

Esta etapa tiene el objetivo de dejar plasmados los resultados del estudio, las conclusiones y una propuesta de mejora para erradicar las deficiencias encontradas. Estos resultados deben ser intercambiados con la dirección de la organización y precisamente sobre esta base, encaminar los esfuerzos para la proyección de las soluciones.

Resultados y Discusión

El modelo fue aplicado en una entidad productora de envases de diversos formatos para el envasado de pulpa, jugo, leche, pintura y otros productos y debido a la necesidad de responder a la alta demanda del mercado nacional, la entidad está inmersa en el mejoramiento del proceso de mantenimiento, al ser éste esencial para contribuir a la disponibilidad de los activos y al cumplimiento de las necesidades de fabricación. Más de setenta activos de tecnología avanzada con instalaciones automatizadas y controladas a nivel de software, distribuidos entre sus líneas de producción, requieren del mantenimiento. La mayor parte dedicados a la producción de productos terminados y el resto a la producción de piezas de repuesto.

A través del estudio realizado se puede apreciar en la figura 3, cómo en el período 2014-2018 existe una tendencia a la disminución del plan de ventas sin cumplir éste en los últimos tres años; los gastos de mantenimiento no llegan al 2 % de los gastos totales sin embargo, el cumplimiento del plan de gastos totales de mantenimiento excede a los gastos reales, incumplándose el plan y afectando directamente la disponibilidad técnica de los equipos.

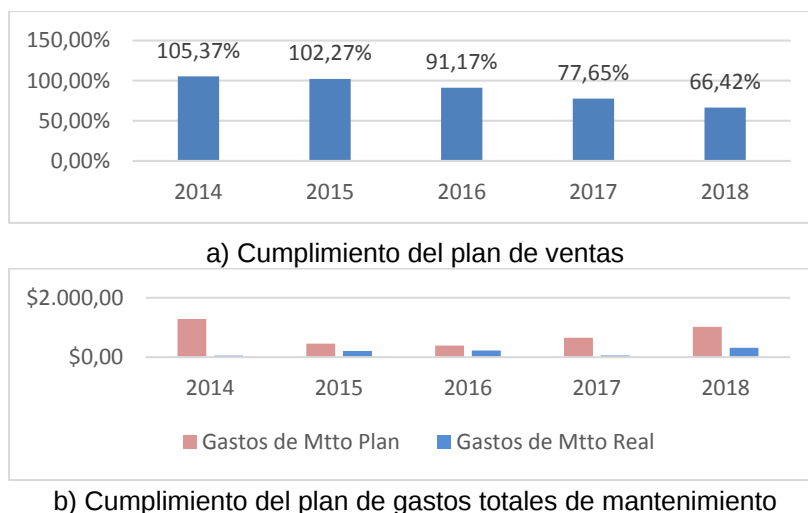


Fig. 3. Comportamiento de algunos indicadores. Fuente: autores

Continuando con el análisis de otros indicadores se pudo constatar, cómo las horas reales de interrupciones por mantenimiento fueron superiores a las planificadas. Por otra parte, el tiempo de paradas en el período 2011-2018, contradictoriamente está la no realización de mantenimientos preventivos planificados y el exceso de mantenimiento por imprevistos y paradas de los activos, ocurriendo que en los últimos años el mantenimiento reactivo fue en aumento mientras que el preventivo fue disminuyendo y en particular, en los años 2017 y 2018 el tiempo de parada de los equipos fue superior por fallos imprevistos que por acciones de mantenimiento planificado.

Luego del análisis cualitativo del flujo logístico asociado al proceso de mantenimiento, se identificaron como agentes externos las áreas de: venta e importaciones, producción y logística, cuyo análisis se enfocó en los subsistemas logísticos de producción, aprovisionamiento y reutilización.

Lo anterior conllevó a la identificación de las causas y sub-causas que estaban afectando la gestión del mantenimiento, las que resultan en gran medida coincidentes con las identificadas en otras investigaciones, tal y como se puede consultar en [10]. Éstas se agruparon en las dimensiones: mano de obra, método, máquinas, medios y materiales, se resumen en el Diagrama Ishikawa, figura 4.

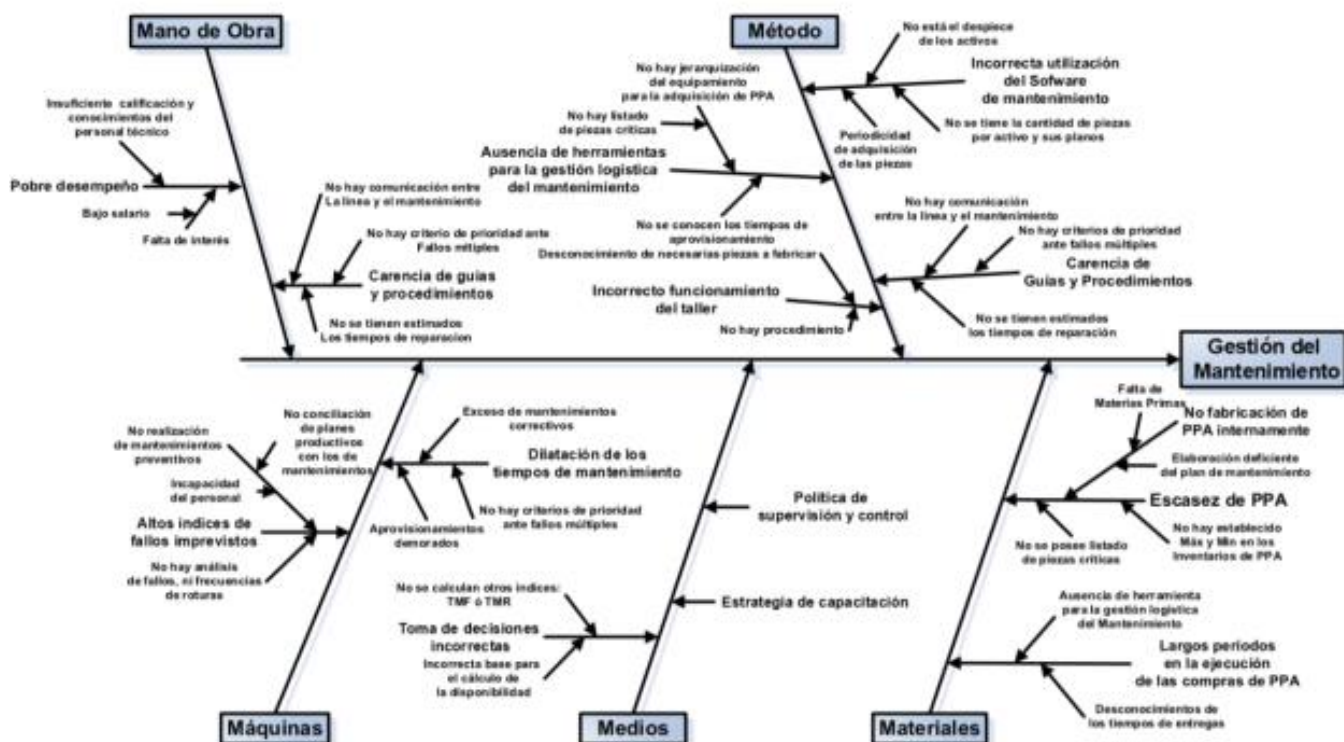


Fig. 4. Resumen de causas que inciden en la gestión del mantenimiento.

Fuente: autores

Aplicación del MGO: Esta técnica se aplicó parcialmente, pues se tomaron los elementos de la modelación de los flujos logísticos, considerando en éstos las mejoras correspondientes. Quedaron modelados el flujo material, el financiero y el informativo del proceso de mantenimiento como tal. También se modelaron los flujos

informativos del subsistema logístico de aprovisionamiento por las dos vías existentes (importación y compra en plaza).

Aplicación del Método de las estimaciones y el Diagrama de Gantt

Estos métodos permitieron calcular el ciclo de aprovisionamiento. Partiendo de los flujos logísticos modelados, se realizó el desglose de las actividades de aprovisionamiento por concepto de importación y de compra en plaza. Se determinaron los ciclos de aprovisionamiento considerando para cada una de las actividades los escenarios optimistas, pesimistas y más probables en cuanto al tiempo, evaluando las expresiones matemáticas que rigen en el Método de las estimaciones y con un nivel de confianza de un 95%. Se pudo conocer que las actividades de mayor ciclo logístico de aprovisionamiento por la vía de la importación fueron el cierre de la operación de negociación con importadores, la aprobación de la solicitud de financiamiento por el organismo competente para ello y la transportación marítima, con valores medios de 66,40; 37,60 y 36,04 días respectivamente. Mientras que por la vía de compra en plaza, las actividades con mayor ciclo logístico fueron el sondeo del mercado para la búsqueda de proveedores y el mandato de pago con medias respectivas de 8,75 y 7,43 días. Complementando los cálculos anteriores, con el empleo del Diagrama de Gantt y teniendo en cuenta las simultaneidades y esperas correspondientes de las actividades, quedó que el ciclo logístico del aprovisionamiento por importación abarca 246 días mientras que el de compra en plaza dura 71 días.

Aplicación del enfoque multicriterio

Este enfoque se aplicó para obtener la jerarquización de los equipos críticos y además, sobre esta base determinar las piezas de repuesto e insumos más necesarias y priorizadas para su compra. Para ello, se empleó primeramente el Método Scoring, que es una de las diversas técnicas multicriterio en espacios discreto, factible y fácil de utilizar. Los equipos más críticos fueron, las máquinas soldadoras Soucan 650 y la 110. Los pasos seguidos en la aplicación del Método Scoring y sus resultados se brindan en la tabla 2.

Tabla 2. Aplicación del Método Scoring. Fuente: autores

Pasos	Resultados
(1) Estructuración del problema Multiatributo	Con el empleo de un Diagrama Pareto, se identificaron los equipos que han representado el 80 % de las fallas en el período analizado, siendo los que constituyen las alternativas a jerarquizar.
	A partir de la revisión bibliográfica, del software existente en la entidad y una tormenta de ideas, los criterios de decisión considerados fueron: cantidad de intervenciones, posibilidad que exista para el activo una alternativa paliativa, régimen de operación, Influencia por la ubicación del equipo en el proceso que es seriado, horas de paradas por avería y tiempo medio entre fallos.
(2) Ponderación de los criterios de decisión	A través de una tormenta de ideas se llegó al consenso de los pesos o importancia de cada uno de los criterios de decisión.
(3) Patrón de evaluaciones	Éste quedó conformado, por los rangos de los valores cuantitativos o cualitativos que podían tomar cada uno de los criterios, para cada valor de la escala empleada, la que abarca desde 1 (valor más favorable) al valor 5 (valor más desfavorable).
(4) Matriz de decisión	La matriz quedó conformada según la estructuración realizada en el primer paso y se completa, con la evaluación de los activos según cada criterio tomando como referencia al patrón de evaluación generado en el paso anterior.
(5) Jerarquización de las alternativas	Se obtuvieron los valores que definen la jerarquía para cada activo, evaluando la función aditiva lineal que incluye el peso de cada criterio obtenido en el segundo paso y las evaluaciones de la matriz de decisión.

Posteriormente, a través del Diagrama Pareto, figura 5a, se pudieron conocer cuáles son las principales piezas de repuesto e insumos que más han sido cambiadas en los equipos críticos, lo que se puede consultar en la figura 5b, se destacan los rodamientos, las correas y el lubricante, en ese orden como se puede apreciar.

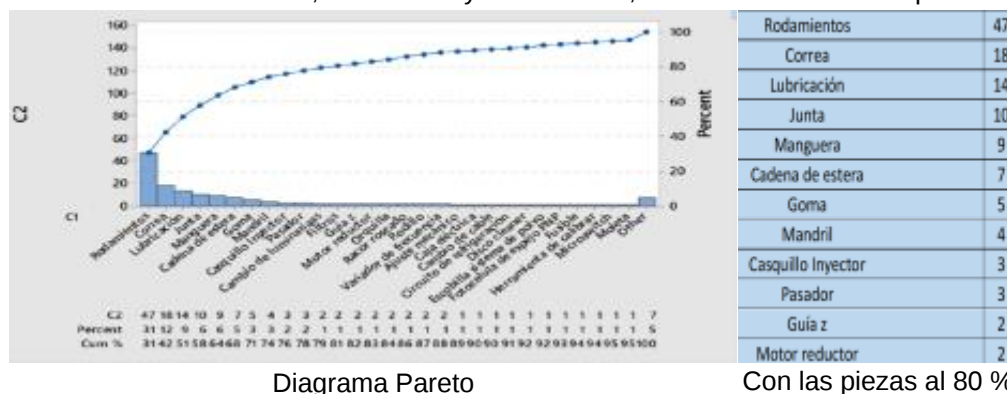


Fig. 5. Principales piezas de repuesto e insumos en equipos críticos. Fuente: autores

Aplicación del MAP de mantenimiento

El empleo de esta herramienta en todo su potencial implica el análisis de todos los elementos que lo conforman figura 1, haciéndolo muy extenso; por ello fue seleccionado el proceso de mantenimiento como proceso de apoyo al área de producción y se consideraron aquellos elementos de mayor importancia e incidencia en la mejora del proceso que se analiza. Así, el análisis abarcó: materia prima y materiales, medios, información, personal y residuos. En cada caso se describieron las actividades que conforman el ciclo de cada uno de estos elementos, aunque sin agotarlos todos. Para “Materias primas y materiales”, se hizo un análisis de las partes y piezas de repuesto y herramientas en cuanto a las actividades: adquisición, transporte, recepción, almacenaje, entrega y utilización, considerando tanto las vías de importación como la de compra en plaza. Además, se especificó el contenido de las catorce piezas de repuesto e insumos más críticos. En la tabla 2 se ilustra el contenido resumido del elemento que más incidió en los cambios realizados.

Tabla 2. Contenido del elemento Rodamiento. Fuente: autores

Nomenclatura	Contenido y Parámetros de calidad	Método de Suministro	Procedimiento de aseguramiento	Almacenaje	Programa de Suministro
Elemento mecánico que sirve de apoyo entre un eje y las piezas conectadas a éste y facilita su desplazamiento.	Geometría del rodamiento / Cargas que soportan / # de horas de operaciones.	Contra pedido	71 días	Estantes y cajas	Programa fijo
Responsable/ ejecutor: Jefe de Mantenimiento / Comprador					

En la aplicación del MAP también se hizo uso de los flujos logísticos elaborados. Así por ejemplo, en la descripción y análisis del elemento “Información”, en la actividad transmisión, se empleó el flujo informativo del proceso mantenimiento con las propuestas de mejoras incorporadas, salvando así las deficiencias detectadas en el diagnóstico realizado.

El modelo de diagnóstico propuesto con enfoque logístico permitió el análisis de la interacción de los diferentes actores que intervienen en el proceso de mantenimiento, identificándose como principales oportunidades de mejoras las relativas a los métodos de gestión del mantenimiento, la escasez de partes y piezas de repuesto y la forma en que éstas se gestionan, así como la insuficiencia de la documentación del quehacer de los actores del proceso. En la proyección de soluciones, se destaca la bondad del enfoque multicriterio, que hizo posible jerarquizar los equipos críticos como base para determinar las piezas de repuesto e insumos más priorizadas para su compra y se aprecia la utilidad de las herramientas logísticas empleadas, el MOG y el MAP, formando parte de esta última, la documentación ofrecida a la empresa. Dado el déficit de investigaciones realizadas con este enfoque, el trabajo desarrollado constituye una modesta referencia para la Logística en el mantenimiento.

Conclusiones

El Modelo de diagnóstico propuesto permitió identificar las oportunidades de mejora de la gestión del mantenimiento y sobre esta base, proyectar las soluciones que contribuyen a una mayor disponibilidad de los activos de la entidad

Referencias

- Rodríguez R, Rojo GE, et al. Envases inteligentes para la conservación de alimentos. Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo sustentable. 2014;10(6):151-173.
- Monsalve C, Misha M, et al. Plan de mantenimiento para la flota vehicular de la empresa Navitrans SAS. Bogotá, Colombia: Colecciones Ingeniería Mecánica; 2018. URL: <http://hdl.handle.net/10901/11600>
- Olarte W, Botero M, Cañón B. Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. Scientia et Technica. 2010;1(44):354-356.
- Integra Markets Escuela de Gestión Empresarial. Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial. 2da Edición. Boston, EEUU: Grupo América Factorial S.A.C., 2018.
- Ortiz A, Rodríguez C, Izquierdo H. Gestión de mantenimiento en pymes industriales. Revista venezolana de gerencia. 2013;18(61):86-104.
- Viveros P, Stegmaier P, Kristjanpoller F, et al. Proposal of a Maintenance Management Model and its Main Support Tools. Ingeniare. 2013;21(1):125-138.
- Gómez MI, Acevedo J, Pardillo Y, et al. Caracterización de la Logística y las Redes de valor en empresas cubanas en perfeccionamiento empresarial. Ingeniería Industrial. 2013;34(2):212-226.
- Hanne T, Dornberger R. Computational Intelligence in Logistics and Supply Chain Management. In: International Series in Operations Research & Management Science. Library of Congress Control Number: 2016943140. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-40722-7.
- Acevedo J, Gómez MI, Pardillo Y, et al. El desarrollo empresarial como base del éxito de la actualización del modelo económico cubano. Revista Cubana de Ciencias Económicas 2015; 1(1):1-11.
- Martínez E, Cabrera J, Arce BA Diagnóstico del servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de emergencia. Ingeniería Mecánica. 2019;22(2):92-99.
- Alemán L, Padilla D, Cuevas C. Diagnóstico del proceso logístico para la toma de decisiones en empresas de biotecnología. Revista Retos en la Dirección. 2019;13(2):182-202.

12. Bana-e-Costa CA, Carnero MC, Oliveira MD. A Multicriteria Model for Auditing a Predictive Maintenance Program. *European Journal of Operational Research*. 2012;217(2):381-393.
13. De Prada J, Degioanni A. Planificación territorial: elección multicriterio interactivo del patrón de urbanización. Estudio de caso. *Revista Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. 2018;26 (2):25-51.
14. Maher A, Maysam F. Classifiers Consensus System Approach for Credit Scoring. *Knowledge Based Systems*. 2016; 104: 89-105. DOI: 10.1016/j.knosys.2016.04.013.
15. Gómez EM, Cabrera J. Herramienta Informática para el análisis de criticidad de activos: Modelos personalizados. *Ingenierías*. 2016;19(71):1405-0676.
16. Díaz A, Villar L. Methodology for maintenance management base on diagnostic criteria. *DYNA*. 2019;86(211). DOI <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n211.77704>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Jorge A. González Echavarría. <https://orcid.org/0000-0001-7438-3540>

Diseño de la investigación, recolección de datos, concepción del modelo propuesto, análisis e interpretación de resultados del diagnóstico, así como en la redacción y aprobación final de la versión a publicar.

Edith Martínez Delgado. <https://orcid.org/0000-0001-9725-7467>

Diseño de la investigación, concepción del modelo propuesto, introducción de herramientas logísticas y multicriterio, análisis e interpretación de resultados, así como en la redacción y aprobación final de la versión a publicar.

Eder L. Barreto San Germán. <https://orcid.org/0000-0002-3886-5072>

Recolección de datos, aplicación del modelo propuesto y de las herramientas logísticas y multiatributo, análisis e interpretación de resultados, así como en la redacción y aprobación final de la versión a publicar.

Víctor M. Espinosa Alfonso. <https://orcid.org/0000-0002-2395-0944>

Recolección de datos, aplicación del modelo propuesto y herramientas logísticas y multiatributo, análisis e interpretación de resultados, así como en la redacción y aprobación final de la versión a publicar.

Jesús Cabrera Gómez. <https://orcid.org/0000-0002-9884-3692>

Diseño de la investigación, análisis de los resultados del diagnóstico así como en la redacción y aprobación del informe final.